Utilisation digestive des acides aminés des matières premières chez le porc en croissance

Catherine Jondreville

▶ **To cite this version:**

Catherine Jondreville. Utilisation digestive des acides aminés des matières premières chez le porc en croissance. Sciences de la Terre. INAPG (AgroParisTech), 2000. Français. NNT : . tel-00005774

HAL Id: tel-00005774
https://pastel.hal.science/tel-00005774

Submitted on 5 Apr 2004

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS-GRIGNON

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS-GRIGNON

présentée et soutenue publiquement

par

Catherine JONDREVILLE

Le 16 juin 2000

Utilisation digestive des acides aminés des matières premières chez le porc en croissance

Directeur de thèse :

Monsieur Bernard SEVE

JURY

Monsieur Daniel SAUVANT	**Président**
Monsieur Michel PICARD	**Rapporteur**
Monsieur Guido RYCHEN	**Rapporteur**
Monsieur François GATEL	**Examinateur**
Monsieur Robert PINOT	**Examinateur**
Monsieur Lionel JACQUOT	**Examinateur**
Monsieur Olivier LAPIERRE	**Examinateur**
Monsieur Bernard SEVE	**Examinateur**

Remerciements

Que de monde à remercier à l'issue de ce travail qui a commencé il y a presque 10 ans…

Tout d'abord, toute l'équipe de la station ITCF de Vendôme qui a effectué toutes les mesures sur animaux. Je remercie en particulier Jean-Marc BERTIN et Dominique BARRAULT qui ont été les témoins de mes débuts et m'ont assistée de façon à la fois très professionnelle et très sympathique.

Je salue également la qualité du travail fourni par les techniciens du laboratoire d'analyses biochimiques de Boigneville, qui ont largement contribué à l'aboutissement de ce projet, ainsi que par les techniciens du laboratoire EUROLYSINE d'Amiens. Je rends hommage en particulier à Pierre MAUPETIT et à Marcelle EUDAIMON pour leur professionnalisme et leur disponibilité.

Un grand merci également au Service des Etudes Méthodologiques et Statistiques de l'ITCF, et en particulier à Marie-France BEAUX et à Hervé MONOD. Forts d'une pédagogie à toute épreuve, ils ont réussi à me guider dans les méandres des calculs statistiques…

J'ai également bénéficié de cours particuliers de chirurgie auprès d'Yves LEBRETON (INRA-SRP) dont la dextérité m'a toujours impressionnée… je le remercie chaleureusement pour sa patience.

De nombreux organismes ont participé au financement du travail qui fait l'objet de cette thèse - ITCF, EUROLYSINE, SANOFI SNA, Mengvoeder UT-DELFIA, SUOMEN REHU, Commission Européenne, Ministère de la Recherche – je les remercie pour leur soutien.

Je tiens à souligner la qualité du groupe de travail constitué autour ce projet. En particulier, François GATEL, François GROSJEAN, Sabine VAN CAUWENBERGHE, et Jan VAN DEN BROECKE ont largement contribué à l'animation du projet et à son aboutissement. De même, les conseils de Bernard SEVE (INRA-SRP) et Gilles TRAN (AFZ) ont été très précieux.

Je tiens à remercier Charles BRETTE ainsi que Robert PINOT (SANOFI-SNA) qui m'ont accordé leur confiance pour le traitement final des données expérimentales et la mise en forme de ce document.

Daniel SAUVANT (INA-PG) et Bernard SEVE (INRA-SRP) ont accepté d'encadrer ce travail de thèse. Je les remercie pour le temps qu'ils m'ont consacré, le soutien qu'il m'ont apporté et pour la qualité de la formation qu'ils ont assurée. Je remercie également Guido RYCHEN (ENSAIA) pour les conseils qu'il m'a fournis, ainsi que Michel PICARD, Lionel JACQUOT et Olivier LAPIERRE pour avoir accepté de participer au jury.

Enfin, une pensée pour tous ceux, collègues et amis, qui m'ont soutenue, même moralement, pendant la rédaction de ce mémoire.

Sommaire

PARTIE I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE 9

I - MODES D'EXPRESSION DE LA DIGESTIBILITÉ ILÉALE DES ACIDES AMINÉS – INTÉRÊTS ET LIMITES 10
A - Définitions : digestibilités iléales apparente, vraie et réelle 10
B - Intérêts et limites de chacun des modes d'expression de la digestibilité iléale des acides aminés 11
C - Conclusion 14
II - MÉTHODES DE COLLECTE DES DIGESTA À LA FIN DE L'ILÉON ET MÉTHODES DE MESURE DE L'EXCRÉTION AZOTÉE ENDOGÈNE 18
A - Les méthodes de collecte des digesta à la fin de l'iléon 18
B - Les pertes azotées endogènes 20
C - Conclusion 30
III - FACTEURS DE VARIATION DE LA DIGESTIBILITÉ ILÉALE DES ACIDES AMINÉS : FACTEURS ANTINUTRITIONNELS 33
A - Les fibres 33
B - Les inhibiteurs de protéases 37
C - Autres facteurs antinutritionnels 39
D - Conclusion 40
IV - CONCLUSION ET INTRODUCTION À LA PARTIE EXPÉRIMENTALE 43
V - RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 44

PARTIE II. EXPÉRIMENTATION 55

I - MATÉRIEL ET MÉTHODES 56
A - Structuration de l'étude 57
B - Méthodologie générale 57
C - Calculs et traitement statistique des données 60
D - Références 64
II - FACTEURS DE VARIATION DE L'EXCRÉTION AZOTÉE ENDOGÈNE BASALE - CONSÉQUENCES POUR LE CALCUL DE LA DIGESTIBILITÉ ILÉALE VRAIE 81
A - Matériel et méthodes – dispositions expérimentales particulières 82
B - Resultats 84
C - Discussion 88
D - Conclusion 94
E - Références 94
III - ILEAL DIGESTIBILITY OF AMINO ACIDS AND ESTIMATES OF ENDOGENOUS AMINO ACID LOSSES IN WHEAT, TRITICALE, RYE, BARLEY, MAIZE AND SORGHUM FED TO PIGS 109
A - Introduction 111
B - Materials and methods 111
C - Results 114
D - Discussion 115
E - References 119
IV - ILEAL TRUE DIGESTIBILITY OF AMINO ACIDS IN WHEAT MILLING BY-PRODUCTS FOR PIGS 129
A - Introduction 131
B - Material and methods 131
C - Results 133
D - Discussion 134
E - References 136
V - ILEAL DIGESTIBILITY OF AMINO ACIDS IN MAIZE GLUTEN FEED FOR PIGS 142
A - Introduction 143
B - Material and methods 143
C - Results 145
D - Discussion 146
E - References 148
VI - ILEAL AMINO ACID DIGESTIBILITY AND ESTIMATES OF ENDOGENOUS AMINO ACID LOSSES IN PIGS FED RAPESEED MEAL, SUNFLOWER MEAL AND SOYBEAN MEAL 155
A - Introduction 157
B - Materials and methods 157
C - Results 161
D - Discussion 163
E - References 167

PARTIE III. DISCUSSION GÉNÉRALE 177

I - MÉTHODOLOGIE 178
A - Le dispositif expérimental : comparaison des lots de matière première entre eux 178
B - Détermination de l'excrétion azotée endogène basale 180
C - Détermination des fractions constitutives des digesta par régression linéaire mutiple 181
D - Conclusions 184
II - FACTEURS DE VARIATION DE L'UTILISATION DIGESTIVE DES ACIDES AMINÉS DES MATIÈRES PREMIÈRES CHEZ LE PORC EN CROISSANCE 195
A - Facteurs de variation de la digestibilité iléale vraie des acides aminés 195
B - Facteurs de variation de l'indigestible alimentaire 196
C - Excrétion azotée endogène 197
D - Conclusion 202
III - APPROCHER LA DISPONIBILITÉ DES ACIDES AMINÉS MATIÈRES PREMIÈRES 215
A - Les pertes endogènes spécifiques, facteurs d'inefficacité de l'utilisation des acides aminés digestibles réels pour la rétention corporelle 215
B - Formulation sur la base de la disponibilité vraie 216
C - Conclusion 217
IV - CONCLUSION 221
V - RÉFÉRENCES 223

Liste des tableaux

Tableau 1 : Teneurs minimales requises pour atteindre le plateau de digestibilité iléale apparente et teneur en protéine correspondante pour un aliment à base de tourteau de soja 15

Tableau 2 : Additivité de la digestibilité iléale apparente (da), vraie (dv) et réelle (dr) de la lysine dans des mélanges céréales/tourteaux d'oléagineux 16

Tableau 3 : Estimation de l'efficacité d'utilisation de l'azote digestible (digestibilité réelle) pour la rétention azotée (Kb), l'excrétion azotée endogène (Ke) 17

Tableau 4 : Comparaison de différentes techniques chirurgicales pour la mesure de la digestibilité iléale apparente de l'azote (%) 30

Tableau 5 : Effet de différents types de fibres sur le flux d'azote endogène à la fin de l'iléon 41

Tableau 6 : Matières premières étudiées : classe, type et nombre de lots par type 66

Tableau 7: Distribution des matières premières expérimentales entre les groupes d'animaux, nombre de répétitions, consommation moyenne d'aliment, poids vif moyen et âge moyen de l'anastomose au moment de la collecte des digesta 67

Tableau 8 : Composition centésimale de l'aliment protéiprive 69

Tableau 9 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Blé 69

Tableau 10 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Triticale 70

Tableau 11 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Seigle 71

Tableau 12 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Orge 72

Tableau 13 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Maïs 73

Tableau 14 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Sorgho 74

Tableau 15 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Co-produits de meunerie 75

Tableau 16 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Corn gluten feed 76

Tableau 17 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Tourteau de colza 77

Tableau 18 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Tourteau de tournesol 78

Tableau 19 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Tourteau de soja 79

Tableau 20 : Composition centésimale de l'aliment minéral et vitaminique (AMV) incorporé dans les aliments expérimentaux 80

Tableau 21 : Distribution de l'aliment protéiprive entre les groupes d'animaux et les animaux : données sur le stade des animaux et le niveau alimentaire 97

Tableau 22 : Aliment protéiprive : excrétion de matière sèche, d'azote et d'acides aminés (g/kg MSI) et profil de la protéine endogène (% ΣAA) (données individuelles) 98

Tableau 23: Aliment protéiprive : Excrétion de matière sèche, d'azote et d'acides aminés d'origine endogène (mg/kg PV $^{0.75}$) en fonction du niveau alimentaire (NA en g MSI/kg PV$^{0.75}$) (Modèle n°2) et excrétion endogène basale moyenne (g/kg MSI) 99

Tableau 24: Effets du stade (poids vif ou âge de l'anastomose), du groupe d'animaux et de l'animal intra-groupe sur l'excrétion azotée endogène basale (g/kg MSI) 100

Tableau 25 : Effets du stade (poids vif ou âge de l'anastomose), du groupe d'animaux et de l'animal intra-groupe sur le profil de la protéine endogène 100

Tableau 26 : Profil des protéines de référence (% ΣAA) (sans proline et sans tryptophane) auxquelles est comparé le profil de la protéine endogène basale 101

Tableau 27 : Comparaison des profils des digesta avec celui des protéines de référence : distance du χ^2 102

Tableau 28 : Distance du χ^2 : distribution des observations selon différentes catégories 102

Tableau 29 : Estimation des fractions constitutives des digesta (régression linéaire multiple) 103

Tableau 30 : Comparaison du niveau moyen d'excrétion azotée endogène basale (g/kg MSI) obtenu dans notre étude aux valeurs proposées par Bastianelli (1996) pour des animaux recevant un aliment protéiprive 106

Tableau 31 : Profil de la protéine endogène : comparaison aux données de la littérature 106

Tableau 32 : Effet du mode de calcul (valeur moyenne ou valeurs individuelles d'excrétion endogène basale) de la digestibilité vraie sur la comparaison de diverses matières premières entre elles 108

Tableau 33 : Analytical characteristics of the cereal grains (in g/kg DM except NNDF and WERV) 124

Tableau 34 : Amino acid content of the grains (g/16 g N) 125

Tableau 35 : Effect of the cereal species on ileal true digestibility of N and AA 126

Tableau 36 : Effect of the cereal species on endogenous AA losses and ileal real digestibility of N and AA 127

Tableau 37 : Analytical characterisation of the feedstuffs 139

Tableau 38 :Effect of the batch within each type of by-product and effect of the type of by-product on N and amino acid ileal true digestibility (%) 140

Tableau 39 : Prediction of N and essential and semi-essential amino acids ileal true digestibility (%) in wheat milling by-products according to the ratio of ADF, CF or ADL to the amino acid and NNDF to the N concentrations in the feedstuffs 141

Tableau 40 : Distribution of pigs fed the batches of maize gluten feed among groups of pig, number of pigs (n), average feeding level (FL, g DM/kg $LW^{0.75}$) and live weight (LW, kg) 151

Tableau 41 : Chemical composition of maize gluten and formulation of diets 151

Tableau 42 : Amino acid composition of maize gluten feed protein, g/16g N 152

Tableau 43 : Effects of pig live weight (LW) and batch of maize gluten feed on nitrogen and amino acid standardized ileal digestibility 153

Tableau 44 : Prediction of nitrogen and amino acid standardized ileal digestibility (%) in maize gluten feed according to the ratio of the N concentration in the NDF residue (N-NDF) to the total N concentration (g/g) 154

Tableau 45 : Feedstuffs and diets characteristics 171

Tableau 46 : Amino acid content of the feedstuffs (g 16 g^{-1} N) 172

Tableau 47 : True ileal digestibility (%) of N and AA in RSM, SFM and SBM 173

Tableau 48 : Estimates of total and specific endogenous gut AA losses and of real ileal digestibility of N and AA in RSM and in SBM 174

Tableau 49 : True digestibility of N and AA (%) in SBM according to the dietary ratio of ADF to AA concentrations (g g^{-1}) and real digestibility of N and AA (%) in SBM according to the dietary ratio of NDF to AA concentrations (g g^{-1}) 175

Tableau 50 : Comparaison de la digestibilité iléale des acides aminés de différentes matières premières ou de différents lots d'un même type de matière première : écart type résiduel obtenu dans différents laboratoires 186

Tableau 51 : Distance du χ^2 entre les profils de la protéine endogène, de la protéine du NDF, de la protéine alimentaire et des digesta 187

Tableau 52: Coefficient de corrélation entre l'excrétion endogène d'azote (g/kg MSI) et la teneur en fibres insolubles de l'aliment expérimental (g/kg MS) – comparaison des critères analytiques et confrontation avec les données de la littérature 209

Tableau 53 : Excrétion endogène totale d'azote (g/j) en fonction de la quantité de matière sèche ingérée et de fibre insoluble ingérée (g/j) ou en fonction de la quantité de matière sèche ingérée (g/j) et la quantité de fibre ingérée (g/j) par unité de poids vif (kg) 211

Tableau 54 : Excrétion endogène spécifique d'acides aminés et coûts associés en pourcentage de la teneur en acides aminés digestibles réels – valeur moyenne par type de matière première 218

Tableau 55 : Digestibilité vraie de l'azote et des acides aminés de diverses matières premières 220

Tableau 56 : Estimation de la disponibilité vraie de l'azote et des acides aminés de diverses matières premières 220

Liste des figures

Figure 1 : Effet de l'introduction de quantités croissantes NDF purifié à partir de son de blé en substitution du sucre dans un aliment à base d'isolat de soja et d'amidon de maïs sur les pertes azotées endogènes spécifiques et alimentaires chez des porcs de 25 kg 15

Figure 2 : Relation entre la digestibilité iléale apparente de la protéine et de la thréonine, la tyrosine et la méthionine et la teneur en protéine d'un aliment à base de tourteau de soja - valeur seuil de teneur en protéine à atteindre pour chacun de ces acides aminés 15

Figure 3 : Conséquences des pertes azotées endogènes sur la quantité d'azote retenu 17

Figure 4 : Nombre de bactéries, pH, concentration en ATP et AEC dans différentes régions du tube digestif de porcs adultes pour deux aliments différant quant à leur teneur en fibres 31

Figure 5 : Quantité d'acide lactique et d'acides gras volatils dans les contenus intestinaux de porcs adultes 31

Figure 6 : Flux, sécrétion et absorption d'azote (g/j) dans 3 sections du tube digestif de porcs de 30 kg estimée par marquage à l'^{15}N et échange de digesta 32

Figure 7 : Flux d'azote et d'acides aminés dans différentes sections du tube digestif de porc de 15 kg recevant un aliment protéiprive 32

Figure 8 : Flux d'azote endogène (g/kg MSI) et taux de réabsorption (%) des sécrétions endogènes dans l'intestin grêle de porcs de 30 kg recevant des aliments à base de concentrat de soja, de tourteau de soja riche en inhibiteurs trypsiques ou de tourteau de colza riche en fibres 33

Figure 9 : Flux endogène d'azote et de sucres aminés selon la teneur en NDF d'un aliment protéiprive 40

Figure 10 : Flux endogène d'azote selon la teneur en NDF de l'aliment 41

Figure 11 : Effet de l'introduction de quantités croissantes d'inhibiteurs trypsiques de soja dans un aliment à base de concentrat de soja et d'amidon de maïs sur le flux d'azote à la fin de l'iléon de porcs de 12 kg 42

Figure 12 : Principe de la préparation chirurgicale (Anastomose iléo-rectale termino-terminale) 66

Figure 13 : Aliment protéiprive : Niveau alimentaire en fonction du poids métabolique 97

Figure 14 : Excrétion endogène basale d'acides aminés (ΣAAE) (mg/kg $PV^{0.75}$) en fonction du niveau alimentaire (NA) (g MSI/kg $PV^{0.75}$) 99

Figure 15 : Comparaison du profil de la protéine contenue dans les digesta des porcs après l'ingestion de l'aliment protéiprive à celui de protéines de référence (analyse factorielle des correspondances) 105

Figure 16 : Comparaison du profil de la protéine contenue dans les digesta des porcs après l'ingestion de l'aliment protéiprive à celui de protéines endogènes de la littérature (analyse factorielle des correspondances) 107

Figure 17 : Effet du mode de calcul (valeur moyenne ou valeurs individuelles d'excrétion endogène basale) de la valeur de digestibilité vraie – exemple de la lysine 108

Figure 18 : Endogenous AA losses (g/kg DM ingested) according to the ADF content of the experimental diet (g/kg DM) 128

Figure 19. Total endogenous gut AA losses (g kg^{-1} DMI) according to the ADF concentration in the SBM diets (g kg^{-1} DM) 176

Figure 20 : Analyse factorielle des correspondances comparant les profils de composition en acides aminés des digesta à ceux des matières premières, de la protéine du résidu NDF et de la protéine endogène 188

Figure 21 : relation entre la teneur en NNDF (g/kg MS) et la teneur en N (g/kg MS) selon le type de matière première 203

Figure 22 : Excrétion endogène totale d'azote selon le type de matière première et la teneur de l'aliment expérimental en fibres insolubles – comparaison des critères analytiques (CB, NDF, ADF ou ADL) et confrontation avec les données de la littérature 205

Figure 23 : Estimation de l'impact du poids des animaux sur la digestibilité iléale vraie des acides aminés du blé (W) et du maïs (M) 213

Figure 24 : Excrétion endogène spécifique d'azote (g/kg MSI) en fonction de la teneur en ADF de la matière première (g/kg MS) 214

Figure 25 : Digestibilité vraie et disponibilité vraie de la lysine et de la thréonine de diverses matières premières 219

Liste des abréviations

ADF	Acid detergent fibre
ADL	Acid detergent lignin
AEC	Adenylate Energy charge
AIR-TL	Anastomose iléo-rectale termino-terminale
AIR-TT	Anastomose iléo-rectale termino-latérale
Ala	Alanine
AMV	Aliment minéral et vitaminique
Arg	Arginine
Asp	Acide aspartique
AX-sol	Arabinoxylanes solubles
β-gluc sol	β-glucanes solubles
CB	Cellulose brute
CF	Crude fibre
C-R	Canule ré-entrante
C-T	Canule en T
Cys	Cystine
Glu	Acide glutamique
Gly	Glycine
His	Histidine
Ile	Isoleucine
Leu	Leucine
Lys	Lysine
Met	Méthionine
NDF	Neutral detergent fibre
Phe	Phenylalanine
PVTC	Post-valve T-caecum
Ser	Sérine
Sol β-gluc	β-glucanes solubles
Sol-AX	Arabinoxylanes solubles
TCA	Acide trichlore acétique
Thr	Thréonine
TIA	Trypsin inhibiting activity
Trp	Tryptophane
Tyr	Tyrosine
Val	Valine
WERV	Water extract relative viscosity

Introduction

Au cours des dix dernières années, des progrès importants ont été accomplis en matière d'alimentation du porc. En particulier, l'élaboration des bases scientifiques pour la formulation des aliments sur la base de l'énergie nette, en modifiant la hiérarchie des matières premières, a favorisé l'utilisation des matières premières riches en amidon aux dépens des matières premières riches en protéines (Noblet et al., 1989). Ce nouveau concept a donc contribué non seulement à une meilleure valorisation des matières premières métropolitaines mais également à limiter les excès protéiques alimentaires et, par conséquent, les rejets d'azote dans l'environnement. Ces deux éléments constituent des priorités pour la filière. Cependant, la formulation d'aliments pauvres en protéines, parce qu'elle implique une diminution des marges de sécurité, repose sur une meilleure connaissance des apports de protéine et d'acides aminés par les matières premières. A cet égard, les mesures de digestibilité iléale des acides aminés se sont multipliées et ont fait l'objet de publications de tables destinées aux industriels de l'alimentation animale (RPAN, 1989, 1993 ; ITCF-Eurolysine, 1995 ; CVB, 1992, 1998 ; Degussa, 1999). Toutefois, ces publications reposent sur différents modes de calcul de la digestibilité iléale des acides aminés. En particulier, le concept de digestibilité iléale apparente s'oppose à celui de digestibilité iléale corrigée de l'excrétion endogène basale d'azote, appelée, selon les auteurs, digestibilité iléale standardisée, digestibilité vraie ou encore digestibilité apparente corrigée (Sève, 1994). L'unique justification de cette correction est de rendre la valeur de digestibilité indépendante de la teneur en acides aminés de l'aliment expérimental (Fan et al., 1994) afin d'obtenir des teneurs en acides aminés digestibles additives (Furuya et Kaji, 1991). L'excrété, même corrigé de l'excrétion endogène basale, contient donc des acides aminés d'origines alimentaire et endogène. Par opposition à l'excrétion endogène basale, ces acides aminés d'origine endogène inclus dans l'indigestible vrai constituent l'excrétion endogène spécifique. Or, il semble important, compte tenu du coût métabolique lié à l'excrétion endogène d'azote, de pouvoir quantifier, par type de matière première, à la fois les apports d'acides aminés digestibles et la perte endogène spécifique.

La première partie de cette thèse est destinée à décrire et à présenter les intérêts et limites des différents concepts utilisés en formulation pour estimer la disponibilité des acides aminés. Cette étude bibliographique fait également le point sur les méthodologies utilisées pour mesurer d'une part l'excrétion azotée endogène basale et, d'autre part, l'excrétion endogène spécifique d'azote et d'acides aminés.

Nous avons également repris, à la lumière des résultats scientifiques acquis ces dernières années, le traitement et l'interprétation d'un certain nombre données déjà publiées sous forme d'une table à destination des industriels de l'alimentation animale (Jondreville et al., 1995). L'objet de ce travail était notamment de valider l'usage d'un aliment protéiprive pour l'estimation de l'excrétion endogène basale et de confirmer sa relation directe avec la quantité de matière sèche ingérée. Nous avons également, pour 77 lots de matières premières, céréales, co-produits de meunerie et d'amidonnerie de maïs, tourteaux d'oléagineux, présenté les valeurs de digestibilité iléale vraie puis évalué l'excrétion endogène spécifique d'acides aminés et les valeurs de digestibilité iléale réelle. L'objet était, d'établir une hiérarchie entre matières premières mais également, intra matière première, de mettre en évidence les principaux facteurs de variation, d'une part de la digestibilité réelle des acides aminés et, d'autre part, de l'excrétion endogène spécifique.

Partie I. Etude bibliographique

I - Modes d'expression de la digestibilité iléale des acides aminés – intérêts et limites

L'évaluation de la valeur alimentaire des matières premières se fait habituellement par des mesures de digestibilité. Pour les acides aminés, on procède généralement à des mesures au niveau iléal en raison de l'absence de valeur nutritionnelle significative des acides aminés passant l'iléon terminal (Sauer et Ozimek, 1986). En effet, les protéines et acides aminés entrant dans le gros intestin subissent l'action de la flore intestinale et sont transformés, soit en ammoniac et excrétés via l'urine, soit en protéines microbiennes et rejetés via les fèces. Cependant, si le site de mesure fait le consensus, différentes manières d'exprimer la digestibilité iléale existent. Ces différences reposent à la fois sur la prise en compte ou non de l'excrétion azotée endogène, et sur la façon de l'estimer.

A - DEFINITIONS : DIGESTIBILITES ILEALES APPARENTE, VRAIE ET REELLE

La digestibilité iléale apparente (da) d'un composé (matière sèche, azote ou acide aminé) est la différence entre la quantité ingérée et la quantité excrétée à la fin de l'iléon, divisée par la quantité ingérée. Fréquemment exprimée en pourcentage de la quantité ingérée, elle est calculée de la façon suivante :

$$\frac{(MSIxAA_i\ alim. - MSExAA_i\ excr.)*100}{MSIxAA_i\ alim.}$$

- MSI = matière sèche ingérée (kg/j)
- MSE = matière sèche excrétée (kg/j)
- AA_i alim. : teneur de l'aliment en acide aminé i (g/kg MS)
- AA_i excr. : teneur des excréta en acide aminé i (g/kg MS)

La digestibilité iléale vraie (dv) et la digestibilité réelle (dr) sont définies de la même façon mais en soustrayant de la quantité totale excrétée la quantité excrétée d'origine endogène.

$$\frac{(MSIxAA_i\ alim. - MSExAA_i\ excr. + MSIxAA_i\ endo)x100}{MSIxAA_i\ alim.}$$

ou encore

$$da + \frac{AA_i\ endox100}{AA_i\ alim.}$$

- MSI = matière sèche ingérée (kg/j)
- MSE = matière sèche excrétée (kg/j)
- AA_i alim. : teneur de l'aliment en acide aminé i (g/kg MS)
- AA_i excr. : teneur des excréta en acide aminé i (g/kg MS)
- AA_i endo. : quantité d'acide aminé i d'origine endogène excrétée (g/kg MSI)

La différence entre la digestibilité iléale vraie et la digestibilité iléale réelle réside dans l'estimation de l'excrétion azotée endogène qui repose sur des méthodes de mesure différentes (Low, 1982).

Dans le premier cas, on considère que l'excrétion endogène d'un acide aminé donné est proportionnelle à la quantité de matière sèche ingérée. Elle représente la perte endogène basale ou non spécifique (Sève et Henry, 1996), indépendante de la nature de l'aliment ingéré.

Pour le calcul de la digestibilité iléale réelle, la quantité totale d'acide aminé d'origine endogène excrétée est prise en compte. Il s'agit de l'excrétion azotée endogène basale à laquelle s'ajoute l'excrétion endogène spécifique de l'aliment ingéré. Contrairement à l'excrétion azotée endogène basale, l'excrétion azotée endogène spécifique est considérée comme étant proportionnelle à la quantité de matière première ingérée (Sève et Henry, 1996) ***(Figure 1, p 15)***.

Il existe, dans la littérature, une certaine confusion sur la terminologie appliquée à la digestibilité corrigée de l'excrétion azotée endogène. La digestibilité iléale vraie, telle que définie ci-dessus, est parfois appelée « digestibilité iléale apparente corrigée » (Lechevestrier, 1996) ou encore « digestibilité iléale standardisée » (Mariscal-Landin, 1992). Certains auteurs appellent digestibilité vraie

« true digestibility » la digestibilité calculée en prenant en compte à la fois l'excrétion azotée endogène basale et l'excrétion azotée endogène spécifique (par exemple, Huisman et al., 1993 ; Marty et al., 1994 ; Nyachoti et al., 1997b).

B - INTERETS ET LIMITES DE CHACUN DES MODES D'EXPRESSION DE LA DIGESTIBILITE ILEALE DES ACIDES AMINES

Avant même de s'interroger sur la pertinence de l'un ou l'autre de ces concepts pour l'estimation de la disponibilité des acides aminés, la possibilité de les utiliser en formulation doit être examinée. Les résultats obtenus doivent en effet être indépendants des conditions expérimentales et, en particulier, de l'aliment expérimental, et aboutir au calcul de teneurs en acides aminés digestibles additives.

B.1 - Additivité des teneurs en acides aminés digestibles

Dans ce paragraphe, nous nous intéresserons uniquement à l'effet de la composition de l'aliment expérimental sur la validité des valeurs de digestibilité. Les autres éléments (animal, technique de collecte des digesta, technique d'estimation de l'excrétion azotée endogène…) seront discutés ultérieurement.

La relation entre la teneur en azote et en acides aminés de l'aliment expérimental et la digestibilité iléale apparente est un résultat désormais classique (Furuya et Kaji, 1989 ; Li et al., 1993) : plus la teneur de l'aliment en acides aminés est faible, plus l'excrétion azotée endogène basale, proportionnelle à la quantité de matière sèche ingérée, représente une part importante de l'excrété. La digestibilité iléale apparente d'un acide aminé augmente donc avec sa teneur dans l'aliment expérimental avant d'atteindre un plateau. Fan et al. (1994) ont précisé, à partir d'aliments à base de tourteau de soja contenant 4 à 24% de protéine, et pour chacun des acides aminés, le seuil à partir duquel la digestibilité apparente se stabilise ***(Tableau 1, p 15; Figure 2, p 15)***. Pour déterminer la digestibilité iléale des acides aminés d'un lot de tourteau de soja, travailler avec un aliment contenant 16-17% de protéine garantit bien d'obtenir une valeur de digestibilité iléale apparente stable (proche du plateau) pour chacun des acides aminés. Cependant, les matières premières étant fréquemment la seule source de protéine du régime expérimental, les valeurs seuil calculées par Fan et al. (1994) ne peuvent évidemment pas être atteintes avec des céréales, ni même, pour certains acides aminés, avec des matières premières contenant plus de 20% de protéine.

Cette relation entre la digestibilité iléale apparente et la teneur de l'aliment expérimental en chacun des acides aminés pourrait être une cause importante de la variabilité des résultats obtenus dans la littérature, sur une même matière première. Par exemple, la digestibilité iléale apparente de la protéine du tourteau de soja, mesurée avec un aliment contenant 12% de protéine, est de 78% (Knabe et al., 1989) et de 84% lorsqu'elle est mesurée avec un aliment contenant 19% de protéine (De Lange et al., 1990). Or, dans l'étude de Fan et al. (1994), la digestibilité iléale apparente de la protéine du tourteau de soja augmente de 77 à 83% lorsque la teneur de l'aliment expérimental passe de 12 à 20%.

La correction de l'excrété total par l'excrétion azotée endogène basale permet de calculer la digestibilité iléale apparente lorsque le plateau est atteint. Comme le rappellent Sève et Henry (1996), ce calcul n'est pas entrepris dans le but d'approcher la digestibilité iléale réelle et de tenir compte des pertes azotées endogènes spécifiques d'azote et d'acides aminés liés à l'ingestion d'une matière première donnée. Il sert uniquement, en s'affranchissant de la part de l'excrété non proportionnelle au pourcentage

d'incorporation de la matière première dans l'aliment expérimental, à rendre les valeurs de digestibilité comparables entre elles et les teneurs en acides aminés digestibles additives. Dans certains cas, les teneurs en acides aminés digestibles, calculées sur la base de la digestibilité iléale apparente peuvent être additives (Imbeah et al., 1988). C'est vrai en particulier si la plus grande part des acides aminés alimentaires est apportée par des matières premières riches en protéines dont la digestibilité iléale apparente est proche de la digestibilité iléale vraie (Stein, 1998c). Cependant, expérimentalement, Furuya et Kaji (1991) et Nyachoti et al. (1997a) ont montré la non additivité des teneurs en acides aminés digestibles calculés sur la base de la digestibilité iléale apparente. Cette non additivité n'est vraisemblablement pas due à des interactions digestives entre matières premières puisque, sur les mêmes aliments, les teneurs en acides aminés digestibles, calculées sur la base de la digestibilité iléale vraie (Furuya et Kaji, 1991) ou réelle (Nyachoti et al., 1997a) sont additives ***(Tableau 2, p 16).***

Certains auteurs, afin d'éviter l'emploi de régimes semi synthétiques, préconisent de substituer la matière première à une protéine de référence, dont on a préalablement mesuré la digestibilité, plutôt que de la diluer dans une base protéiprive : la digestibilité est alors calculée par différence (van Leeuwen et al., 1987 ; van Leeuwen et al., 1991 ; Hennig et al., 1993). Cependant, ce calcul repose sur l'additivité des teneurs en éléments digestibles qui dépend, certes, de l'absence d'interaction entre les matières premières dans l'aliment, mais, avant tout, de l'additivité des teneurs en composants digestibles. L'utiliser pour le calcul de la digestibilité iléale apparente devient alors problématique. Ce manque d'additivité explique vraisemblablement l'augmentation moyenne de 2 points de la digestibilité iléale apparente des acides aminés d'un lot de tourteau de soja calculée par van Leeuwen et al. (1987), lorsque son pourcentage d'incorporation passe de 20 à 40% dans un aliment à base de maïs. Pour être correcte, la digestibilité iléale vraie des acides aminés de la matière première devrait être calculée à partir de la digestibilité iléale vraie des acides aminés de la protéine de base et de celle de l'aliment contenant la matière première.

B.2 - La digestibilité iléale est-elle une bonne estimation de la disponibilité

La disponibilité est définie comme la proportion d'acides aminés alimentaires absorbés sous une forme utilisable pour des synthèses protéiques. Au contraire de la digestibilité, la disponibilité comporte deux composantes : l'une digestive et l'autre métabolique.

B.2.1 - Traitements thermiques et disponibilité

Traditionnellement, la disponibilité d'un acide aminé dans une source protéique donnée est évaluée en mesurant la réponse à son incorporation croissante dans un aliment lorsqu'il est le facteur limitant (slope-ratio assay). Le critère mesuré est soit le gain de poids, l'efficacité alimentaire, le pourcentage de rétention azotée, ou de l'acide aminé). Comparée à la courbe de réponse obtenue avec un acide aminé industriel, supposé 100% disponible, la courbe de réponse obtenue avec la matière première à étudier permet de calculer la disponibilité. Ces mesures sont lourdes puisqu'elles supposent la mise en œuvre de 3 niveaux d'incorporation au moins et qu'un seul acide aminé à la fois peut être étudié.

Selon Batterham et al. (1990), la proportion de lysine digérée (digestibilité iléale apparente) retenue est variable selon la matière première utilisée. En particulier, la proportion de lysine retenue (% de la lysine digestible apparente)

serait de 75% pour du tourteau de soja, 60% pour de la farine de viande et d'os et 36% pour du tourteau de coton (Batterham et al., 1990). Dans une moindre mesure, la proportion de méthionine digestible retenue différerait d'une source protéique à l'autre (47%, 45% et 39% respectivement pour tourteau de soja, de la farine de viande et d'os et du tourteau de coton) (Batterham et al., 1993). Pour la thréonine, ces valeurs atteindraient 64%, 59% et 44% respectivement pour du tourteau de soja, de la farine de viande et d'os et du tourteau de coton (Beech et al., 1991). En revanche, pour les acides aminés branchés (leucine, isoleucine, valine), les valeurs ne diffèrent pas d'une source de protéine à l'autre (Batterham et Andersen, 1994). Selon ces auteurs, le chauffage entraînerait des modifications de la protéine alimentaire, qui, sans affecter la quantité d'acides aminés digestibles, en modifieraient l'utilisation métabolique. La lysine, particulièrement sensible aux traitements thermiques (réaction de Maillard), serait l'acide aminé le plus affecté, comme le confirment les travaux de van Barneveld et al. (1994) qui montrent que la disponibilité des acides aminés du pois est inversement proportionnelle à la température de chauffage de la matière première.

Selon ces auteurs, la digestibilité iléale apparente (ou vraie) serait un bon estimateur de la disponibilité sauf pour les protéines dénaturées par traitement thermique. Cependant, les résultats précédemment cités sont extrêmement difficiles à transposer dans les conditions pratiques. D'une part, les résultats sont influencés par le critère de disponibilité choisi : selon Batterham et al. (1990), l'efficacité alimentaire et le pourcentage de rétention corporelle de l'acide aminé dont on étudie la disponibilité sont les critères les plus pertinents. De plus, les valeurs de disponibilité obtenues sont très dépendantes des conditions expérimentales, en particulier, de l'animal dont le besoin protéique par unité d'énergie est variable suivant son poids (Sève, 1994).

B.2.2 - Coûts associés aux pertes azotées endogènes

Les pertes azotées endogènes et en particulier les pertes azotées endogènes spécifiques liées à l'ingestion d'une matière première donnée peuvent être des facteurs importants d'inefficacité de l'utilisation des acides aminés digestibles pour les dépôts corporels (Souffrant, 1991 ; Sève et Henry, 1996 ; Nyachoti et al., 1997b). En effet, si l'excrétion endogène d'azote représentait les pertes pour l'animal, il suffirait de les comptabiliser tel que dans les besoins pour l'animal. Cependant, selon Souffrant et al. (1993) et Krawielitski et al. (1990, 1996), les sécrétions endogènes sont 4 fois plus élevées que l'excrétion mesurée à la fin de l'iléon. Dans ce cas, plus les pertes azotées endogènes sont élevées, plus le recyclage de ces acides aminés endogènes est élevé, et plus les pertes d'azote via l'urine dues au processus métabolique de resynthèse sont élevées. De plus, le possible déséquilibre entre acides aminés provoqué par ces pertes endogènes risque de réduire l'efficacité des acides aminés pour les synthèses corporelles. Par conséquent, plus les pertes azotées endogènes sont élevées, plus les pertes urinaires le sont (Huisman et al., 1993). Récemment, les mesures de bilan azoté effectuées par Grala et al. (1997, 1998a, 1998c), avec des aliments à base de tourteau de soja, et Hess (1999), avec des aliments à base de pois, ont permis de montrer, que non seulement la rétention azotée est bien inversement proportionnelle à l'excrétion azotée endogène mais encore que le rendement d'utilisation de l'azote réellement absorbé pour la synthèse de protéine endogène (Ke) est inférieur à son

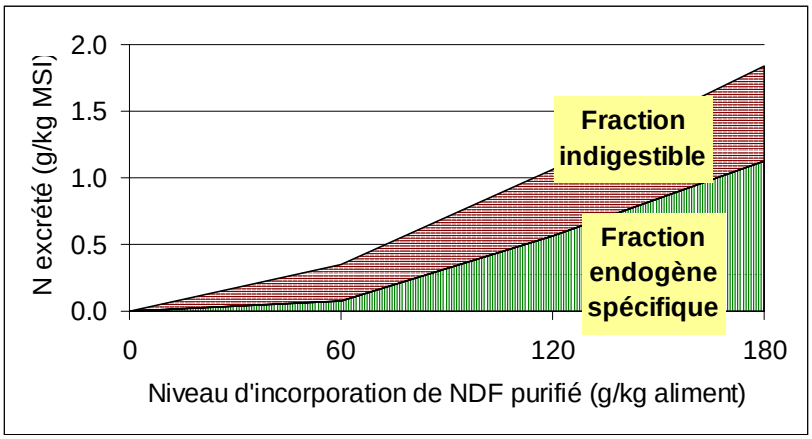
rendement d'utilisation pour les synthèses corporelles (Kb) ***(Tableau 3, p17 ; Figure 3, p 17)***, contrairement aux hypothèses premières de Huisman et al. (1993), qui affectaient la même efficacité pour les deux types de production. Selon ces auteurs, l'efficacité d'utilisation de l'azote pour la rétention azotée se situe entre 0.80 et 0.88, ce qui est un résultat classique (Sève et Henry, 1996) et entre 0.40 et 0.60 pour les pertes azotées endogènes. L'intérêt de l'estimation de la digestibilité iléale réelle, par rapport à la digestibilité iléale vraie (ou apparente) réside donc dans la distinction entre les deux fractions constitutives des digesta (endogène et alimentaire), qui ont un coût métabolique différent. Dans l'état actuel des connaissances, il est encore difficile d'utiliser ces résultats dans la pratique : l'estimation de l'efficacité de l'utilisation des acides aminés digestibles (réels) est variable selon les références, ce qui pourrait provenir d'un taux de réabsorption des sécrétions endogènes différent selon le type de matière première, qui pourrait varier de 50 à 75% (Grala et al., 1998b). Par ailleurs, les mesures de bilan telles qu'elles sont pratiquées sont très sensibles, non seulement à l'apport en acides aminés digestibles, mais également à l'apport énergétique. Grala et al. (1998c) ne trouvent aucune relation entre la rétention azotée et l'excrétion azotée endogène lorsque le facteur antinutritionnel étudié, à partir de tourteau de colza, est le NDF ***(Tableau 3, p 17 ; Figure 3, p 17)***. Il est possible que l'apport énergétique ait différé d'un aliment à l'autre, ce qui modifierait les résultats. Grala et al. (1998c) ne concluent donc pas définitivement sur les conséquences, sur la rétention azotée, de l'augmentation de l'excrétion endogène par l'augmentation du taux de fibres dans l'aliment.

C - CONCLUSION

Un système de détermination de la digestibilité iléale des acides aminés des matières premières ne peut reposer sur la digestibilité iléale apparente, qui aboutit à des résultats très dépendants des conditions expérimentales et non additifs. La digestibilité iléale vraie, permet de corriger ce défaut. Cependant, comme la digestibilité iléale apparente, elle demeure une approche globale qui ne permet pas de distinguer les pertes d'origine alimentaire des pertes d'origine endogène. Même si les coûts métaboliques associés à l'excrétion endogène d'azote sont encore à préciser, la mesure de la digestibilité réelle et des pertes endogènes spécifiques semble être le critère le plus approprié pour approcher les quantités d'acides aminés utilisables pour les dépôts corporels. Cependant, ces déterminations reposent sur la mise en œuvre de techniques de mesures particulières et il convient de s'interroger sur les possibilités qu'elles offrent, ainsi que sur leurs limites.

Figure 1 : Effet de l'introduction de quantités croissantes NDF purifié à partir de son de blé en substitution du sucre dans un aliment à base d'isolat de soja et d'amidon de maïs[1] sur les pertes azotées endogènes spécifiques et alimentaires chez des porcs de 25 kg

(d'après Schulze et al., 1994a)



[1] composition de l'aliment de base : Isolat de soja (22.00%), Amidon de maïs (49.35%), Huile de soja (2.00%), Sucre (20%), minéraux et vitamines (6.65%)

Tableau 1 : Teneurs minimales requises pour atteindre le plateau de digestibilité iléale apparente et teneur en protéine correspondante pour un aliment à base de tourteau de soja

(d'après Fan et al., 1994)

	Valeur seuil (% MS)	Teneur en protéine correspondante (%)		Valeur seuil (% MS)	Teneur en protéine correspondante (%)
Nx6.25	17.07	15.36	Gly	0.67	15.98
Lys	0.94	14.70	His	0.43	16.08
Thr	0.63	15.53	Ile	0.83	16.38
Met	0.24	13.70	Leu	1.33	16.30
Cys	0.24	14.29	Phe	0.82	14.68
Ala	0.69	15.39	Ser	0.87	15.67
Arg	1.15	15.36	Tyr	0.62	16.29
Asp	1.71	14.01	Val	0.84	16.53
Glu	2.31	11.00			

Figure 2 : Relation entre la digestibilité iléale apparente de la protéine et de la thréonine, la tyrosine et la méthionine et la teneur en protéine d'un aliment à base de tourteau de soja - valeur seuil de teneur en protéine à atteindre pour chacun de ces acides aminés

(Fan et al., 1994)

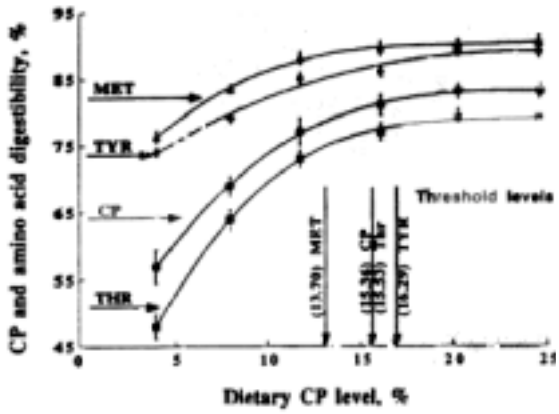


Tableau 2 : Additivité de la digestibilité iléale apparente (da), vraie (dv) et réelle (dr) de la lysine dans des mélanges céréales/tourteaux d'oléagineux

Aliment [(1)]	da		dv		dr	
	M	C	M	C	M	C
Imbeah et al. (1988)						
Orge	38	-	-	-	-	-
Tourteau de soja	86	-	-	-	-	-
Tourteau de colza	70	-	-	-	-	-
53.7% Orge + 40.0% T. Soja	80	78	-	-	-	-
53.6 Orge + 40.0% T. Colza	70	62	-	-	-	-
Furuya et Kaji (1991)						
Orge	55	-	75	-	-	-
Maïs	50	-	75	-	-	-
Blé	62	-	83	-	-	-
Tourteau de soja	80	-	87	-	-	-
61.8% orge + 23.2% T. Soja	78	73	86	84	-	-
59.9% maïs + 26.1% T. Soja	78	75	84	85	-	-
66.9% blé + 18.4% T. Soja	76	75	83	85	-	-
Nyachoti et al. (1997a)						
Orge	54	-	-	-	87	-
Tourteau de colza	63	-	-	-	85	-
61.2% orge + 22.0% T. Colza	64	59	-	-	86	86
Stein (1998c)						
Maïs	59	-	-	-	-	-
Tourteau de soja	85	-	-	-	-	-
88.4% Maïs + 4.4% T. Soja	61	54	75	67	-	-
79.8% Maïs + 12.8% T. Soja	80	83	86	85	-	-
72.4% Maïs + 20.3% T. Soja	79	79	85	81	-	-

[(1)] le complément à 100% est constitué de minéraux et vitamines

M : mesure ; C : Calcul

Tableau 3 : Estimation de l'efficacité d'utilisation de l'azote digestible (digestibilité réelle) pour la rétention azotée (Kb), l'excrétion azotée endogène (Ke)

Réf.		Animaux	Ni	Da	Dr	Nendo	Nr	Nu	Nendo/Ndr	Nr/Ndr	Ke	Kb	K
a	Pois Solara	>35 kg	27	69	80	2.84	11.9	6.8	0.13	0.55	0.42	0.84	0.68
a	Micro[1]		27	83	90	1.78	16.8	5.7	0.07	0.69	0.42	0.84	0.76
a	Pois Madria		27	60	77	4.6	7.2	9.0	0.22	0.35	0.42	0.84	0.57
a	Pois Eiffel		27	69	82	3.73	11.1	7.8	0.16	0.49	0.42	0.84	0.66
b	Gluten de blé	12- 24 kg	21	91	99	1.5	16.2	3.4	0.07	0.77	0.60	0.88	0.85
b	Pois		24	80	96	3.7	15.6	4.2	0.16	0.67	0.60	0.88	0.83
b	T. Colza[2]		28	67	80	3.6	14.1	4.9	0.16	0.63	0.60	0.88	0.79
c	Concentrat soja	24-30 kg	21	87	97	2.1	12.9	5.2	0.10	0.64	0.43	0.80	0.74
c	T. Soja (TIA-)		23	83	93	2.3	12.3	6.9	0.11	0.57	0.43	0.80	0.68
c	T. Soja (TIA+)		27	68	81	3.5	11.0	7.2	0.16	0.51	0.43	0.80	0.67
c	T. Colza [3]		23	76	85	2.0	11.6	6.2	0.10	0.59	-	-	0.69
c	T. Colza (NDF+)[3]		26	70	81	2.9	12.1	6.1	0.14	0.58	-	-	0.72
c	T. Colza [3]		23	76	88	2.7	11.0	6.4	0.13	0.55	-	-	0.68

Références : a : (Hess, 1999) ; b : Grala et al. (1997) ; c : Grala et al. (1998c)

[1] : Solara microbroyé ; [2] : Solvant ; [3] : Pression

En g/kg MSI : Ni : N ingéré ; Nendo : flux d'azote endogène total à la fin de l'iéon , Nr : N retenu ; Nu : N excrété via l'urine ; Ndr : N alimentaire absorbé à la fin de l'iléon (NixDr/100)

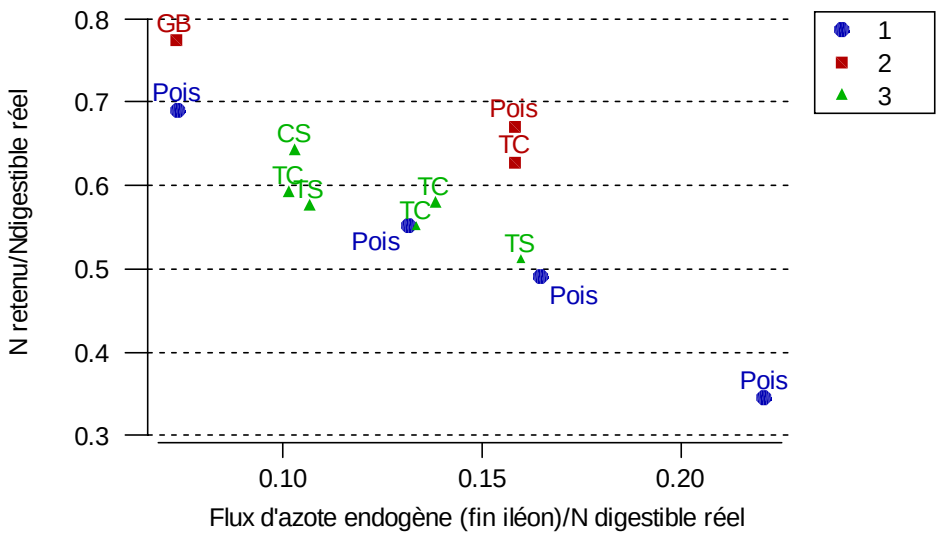
En % : Da, Dr : digestibilité iléale apparente, vraie et réelle respectivement

Kb, Ke et K : efficacité d'utilisation de la protéine absorbée pour la rétention azotée (Kb), l'excrétion azotée endogène (Ke) et l'ensemble (K) - Ndr = Nr/Kb+Nendo/Ke - Ndr = (Nr+Nendo)/K

Figure 3 : Conséquences des pertes azotées endogènes sur la quantité d'azote retenu

1 : Hess (1999) ; 2 : Grala et al. (1997) ; 3 : Grala et al. (1998c)

GB : gluten de blé, TC : tourteau de colza ; CS : concentrat de soja ; TS : tourteau de soja.



II - Méthodes de collecte des digesta à la fin de l'iléon et méthodes de mesure de l'excrétion azotée endogène

A - LES METHODES DE COLLECTE DES DIGESTA A LA FIN DE L'ILEON

Différentes techniques peuvent être mises en œuvre pour accéder aux digesta à la fin de l'iléon : techniques d'abattage, techniques de fistulation ou encore d'anastomose iléo-rectales (Low, 1982 ; Fuller, 1991). Dans ce paragraphe, nous nous limiterons aux techniques de canulation les plus couramment utilisées (pose de canules en T, canules réentrante et canules PVTC) ainsi qu'à l'usage d'anastomoses iléo-rectales.

A.1 - Les techniques de canulation

La plus simple des techniques est l'introduction d'une canule en T implantée à la fin de l'iléon. Compte tenu de l'impossibilité de collecter totalement les digesta, cette technique nécessite l'emploi d'un marqueur alimentaire indigestible. L'oxyde de chrome, considéré comme fiable (Imbeah et al., 1995), est le plus fréquemment utilisé. Le principal avantage de la canule en T est son caractère peu traumatisant pour l'animal (Jorgensen et al., 1985). En revanche, le risque de non représentativité de l'échantillon prélevé existe (Laplace et al., 1985 ; Fuller, 1991).

L'usage d'une canule ré-entrante, iléo-iléale (Cunningham et al., 1962) ou iléo-caecale (Easter et Tanksley, 1973), permet une collecte totale des jus iléaux. Cette technique met en œuvre la section complète de l'iléon terminal et la pose de deux canules reliées à l'extérieur du corps de l'animal par un tube en matière plastique. Le principal inconvénient de ce type de canulation est le risque de blocage des digesta surtout lorsque des matériaux fibreux sont testés (Fuller, 1991).

La canule PVTC (Post Valve T-Caecum) a été décrite par van Leeuwen et al. (1991). Elle consiste à remplacer une partie du caecum par la canule qui est positionnée en face de la valvule iléo-caecale. Selon van Leeuwen et al. (1991), elle permet une collecte dite « quasi totale » des digesta. Cependant, Köhler et al. (1990) ont noté une diminution notable du taux de récupération du marqueur lorsque la teneur en fibre de l'aliment augmente. Cette technique permet de préserver la valvule iléo-cæcale et est peu traumatisante pour l'animal (Köhler et al., 1992). En revanche, elle nécessite beaucoup de main d'œuvre puisque des collectes de 12 heures consécutives doivent être effectuées.

A.2 - L'anastomose iléo-rectale

Initialement développée Fuller et Livingstone (1982), cette technique consiste en une suture de l'iléon terminal sur le rectum. Permettant une collecte totale des digesta, cette technique ne requiert pas l'emploi d'un marqueur. Initialement termino-latérale, elle est désormais pratiquée en isolant totalement le gros intestin du reste du tube digestif (Picard et al., 1984 ; Laplace et al., 1989), on parle alors d'anastomose iléo-rectale termino-terminale. En dépit du rôle de la valvule iléo-cæcale sur le temps de rétention des digesta dans l'iléon (Darcy et al., 1980), sa préservation ne modifie pas les résultats de digestibilité des acides aminés (Green, 1988 ; Laplace et al., 1994). La méthode la plus couramment utilisée, notamment en France, est l'anastomose iléo-rectale termino-terminale sans préservation de la valvule iléo-cæcale. Toutefois, elle est parfois jugée traumatisante pour l'animal et éloignée des conditions physiologiques normales (Fuller, 1991). En particulier, la destruction fonctionnelle du gros intestin

entraîne des pertes importantes d'eau et d'électrolytes, qui sont partiellement compensées par des apports supplémentaires en minéraux et vitamines, et prive l'animal de sources d'énergie issues des fermentations qui ont habituellement lieu dans cette partie du tube digestif (Köhler et al., 1992a et b). Par ailleurs, certains auteurs suggèrent une adaptation progressive de l'intestin grêle consécutive à la destruction fonctionnelle du gros intestin (Fuller, 1991 ; Köhler et al., 1992a), pouvant conduire à des modifications de la digestibilité des acides aminés. En particulier, 26 semaines après la préparation chirurgicale, Fuller (1991) observe des modifications histologiques de l'iléon avec notamment une augmentation du nombre de cellules en gobelet. Il note par ailleurs une teneur des digesta en acides gras volatils plus élevée chez ces animaux que chez des animaux porteurs d'une canule en T. Cependant Kwella et Hennig (1997) ne notent aucune modification de la population bactérienne dans les jus iléaux de mini porcs alimentés à base de céréales jusqu'à 32 semaines après la préparation en anastomose iléo-rectale termino-terminale. De plus, si ces modifications peuvent conduire à une augmentation de la digestibilité iléale des fibres, elles sont sans effet détectable sur la digestibilité des acides aminés (Fuller, 1991 ; Laplace et al., 1994). L'anastomose iléo-rectale termino terminale peut donc être utilisée pour la détermination de la digestibilité des acides aminés jusqu'à environ 4.5 mois (Laplace et al., 1994), 8 mois (Bodin et al., 1998) voire 24 mois (Fuller , 1991) après la préparation chirurgicale.

A.3 - Comparaison des résultats obtenus selon les différentes techniques chirurgicales

Peu de comparaisons systématiques entre les principales techniques (canule en T, canule ré-entrante, canule PVTC ou anastomose iléo-rectale termino terminale) existent. En particulier, aucune de ces techniques n'est réputée donner des résultats systématiquement plus faibles ou plus élevés qu'une autre ***(Tableau 4, p 30)*** : avec un aliment à base de pois, Leterme et al. (1990) calculent des digestibilités iléales apparentes légèrement plus élevées lorsque les animaux sont munis d'une canule en T plutôt que d'une anastomose iléo-rectale termino terminale alors que Torrallardona et al. (1997a), avec un aliment à base de tourteau de tournesol observent le contraire.

Dans des études plus systématiques, Köhler et al. (1990) et Fuller et al. (1994) concluent que les différences entre techniques sont faibles, en particulier lorsqu'elles ont comparées à partir d'aliment semi-synthétiques. En revanche, lorsque l'aliment contient beaucoup de fibres, l'usage d'une canule en T aboutit à des résultats plus faibles que l'usage d'une canule PVTC ou d'une canule ré-entrante (Köhler et al., 1990) ou d'une anastomose iléo-rectale termino terminale (Fuller et al., 1994). Ces différences sont souvent imputées aux difficultés à obtenir un échantillon représentatif des digesta lorsque la canule en T est utilisée.

La comparaison des données issues de la littérature entre elles est donc possible, indépendamment de la technique chirurgicale utilisée, surtout lorsque les matières premières testées sont peu fibreuses. En revanche, pour les matières premières riches en fibres, la canule en T semble donner des résultats plus faibles que les autres techniques.

B - LES PERTES AZOTEES ENDOGENES

B.1 - Nature et origine des pertes azotées endogène

B.1.1 - Nature des pertes azotées endogènes

La protéine endogène basale se caractérise par des concentrations élevées en acides aminés non indispensables : l'excrétion d'alanine, acide aspartique, acide glutamique, glycine, proline et sérine représente environ 60% de l'excrétion totale d'acides aminés (Wünsche et al., 1987 ; Bastianelli, 1996). La proline, la glycine, l'acide glutamique, l'acide aspartique, la thréonine et la sérine sont les acides aminés les plus abondants dans la protéine endogène basale, quelle que soit la technique adoptée pour la mesurer (Butts et al., 1993a). Selon Moughan et Schuttert (1991), la majeure partie de l'azote excrété à la fin de l'iléon chez des animaux de 15 kg recevant un aliment protéiprive, serait sous la forme de composés de poids moléculaire supérieur à 10000 Da, dont 78% seraient des protéines, 11% seraient de peptides et des acides aminés libres alors que l'urée représenterait moins de 0.5% de l'azote total excrété.

B.1.2 - Origine des pertes azotées endogènes

La protéine recueillie à la fin de l'iléon a pour origine la fraction indigestible de l'aliment ingéré et des éléments d'origine dite endogène. Ces derniers sont constitués de composés d'origine strictement endogène (sécrétions digestives, cellules desquamées) mais également de composés non alimentaires mais non strictement endogène (bactéries) (Nyachoti et al., 1997b). Ils ont un rôle, soit dans le processus de digestion de l'aliment, soit dans la protection de l'individu.

B.1.2.1 - Les sécrétions azotées endogènes strictes

B.1.2.1.1 - Origine des sécrétions endogènes

B.1.2.1.1.1 - Les enzymes digestives

La digestion de l'amidon commence dans la bouche grâce à la sécrétion d'α-amylase dans la salive et continue dans l'œsophage et est bloquée dans l'estomac en raison de l'abaissement du pH qui rend l'enzyme inactive. Le principal site de digestion de l'amidon est l'intestin grêle, grâce à l'action de l'α-amylase sécrétée par le pancréas en quantité très excédentaire par rapport à la quantité d'amidon ingérée (Longland, 1991). Les produits finaux (surtout maltose) sont ensuite dégradés par des maltases sécrétées par la muqueuse de l'intestin grêle et sont absorbés sous forme de glucose. Pour la plupart des matières premières, plus de 97% de l'amidon est digéré avant la fin de l'intestin grêle (Bach Knudsen et Johansen, 1995).

La digestion des lipides a lieu au niveau de l'intestin grêle, essentiellement grâce à la lipase sécrétée par le pancréas. Les sels biliaires, acide cholique ou acide désoxycholique conjugués avec la taurine mais surtout la glycine, salifiés par des ions monovalents (Na, K), sont indispensables à l'émulsification des lipides pour permettre leur digestion et l'absorption des produits finaux (monoglycérides, acides gras libres, stérols libres) (Juste, 1982). L'hydrolyse des protéines débute dans l'estomac où la présence d'acide chlorhydrique, produit par les cellules épithéliales, va permettre l'activation des pepsinogènes en pepsine. A ce stade, les protéines sont hydrolysées en peptides et très peu d'acides aminés sont libérés. Le pH élevé dans le duodénum entraîne une inactivation des pepsines stomacales. La digestion enzymatique

des protéines se poursuit dans l'intestin grêle avec la sécrétion des protéases pancréatiques et intestinales. Les enzymes pancréatiques sont toutes sécrétées sous forme de zymogène. Elles peuvent être classées en deux catégories : les endopeptidases (trypsine, chymotrypsine, élastase) et les exopeptidases (carboxypeptidases A et B) qui poursuivent l'action protéolytique des premières. La trypsine joue un rôle particulier : en plus de son action majeure dans l'hydrolyse des protéines, elle permet l'activation de toutes les autres enzymes pancréatiques. Elle-même est activée par la sécrétion d'entérokinase par la muqueuse duodénale. Les enzymes intestinales sécrétées dans la lumière intestinale sont des amino-oligopeptidases ainsi que des dipeptyl-aminopeptidases. La digestion des peptides absorbés est complétée par des dipeptidases et des tripeptidases cytoplasmiques (Longland, 1991).

B.1.2.1.1.2 - Les mucines

Les mucines sont des glycoprotéines synthétisées et sécrétées par les cellules en gobelet de la muqueuse intestinale (Fuller et Cadenhead, 1991). Elles ont un rôle de protection de la muqueuse digestive contre les attaques microbiennes et contre l'action des enzymes digestives. Une des caractéristiques des mucines est leur richesse en proline, acide glutamique, acide aspartique, thréonine et sérine (Souffrant, 1991).

B.1.2.1.1.3 - Les autres sources d'azote endogène

Bien que n'étant pas des sécrétions à proprement parler, les cellules desquamées des muqueuses stomacales et intestinales sont une autre source d'azote endogène ; elles représenteraient 10% de l'azote sécrété dans l'intestin grêle (Buraczewska, 1979). Par ailleurs, de l'azote non protéique se trouve dans la salive, le suc pancréatique, la bile et les sécrétions intestinales (Buraczewski, 1986). En particulier, 40% de l'azote sécrété via le pancréas serait de nature non protéique (Corring et Jung, 1972). La sécrétion d'urée a lieu principalement dans la partie proximale du tube digestif (Mosenthin et al., 1992a) via le suc pancréatique et la bile (Bergner et al., 1986).

B.1.2.1.2 - Les apports d'azote endogène par les sécrétions digestives

De façon générale l'étude des sécrétions endogènes est complexe, notamment d'un point de vue quantitatif. Certains auteurs se sont intéressés aux sécrétions produites par certains organes (suc pancréatique, bile) alors que d'autres ont procédé par régions du tube digestif (région gastrooesophagienne, duodénum, jéjunum, iléon). Pour mesurer les pertes totales, Krawielitzki et al. (1990) proposent l'échange des digesta obtenus à différents niveaux du tube digestif (duodénum, iléon) entre 3 porcs dont l'un est marqué à l'azote 15. Les sécrétions totales de salive, suc gastrique, suc pancréatique et bile représentent 5.3 et 9.3 g N par jour alors que les sécrétions intestinales sont de 8.9 et 9.7 g N par jour lorsque la source de protéine est du tourteau de soja ou de la farine de viande respectivement (Krawielitzki et al., 1990, 1996) ***(Figure 6, p 32).*** En dépit de la variabilité des méthodologies mises en œuvre pour mesurer les sécrétions azotées endogènes, certaines grandes tendances se dégagent. Selon Auclair (1986), cité par Souffrant (1991), 9 à 11% des sécrétions d'azote endogène proviendraient de la salive et des sécrétions gastriques, 11 à 23% des sécrétions pancréatiques, 8 à 10% des sécrétions biliaires, 6 à 7% de cellules desquamées et la majeure partie des sécrétions intestinales (49 à 65%). Leterme (1995), cité par

Sève et Leterme (1997), confirme l'importance des sécrétions intestinales dans les sécrétions totales. Selon cet auteur, l'azote sécrété se décomposerait de la façon suivante : 0.2 à 0.6 g/jour proviendraient de la salive, 2.0 à 3.3 g/jour des sécrétions gastriques, 1.0 à 4.6 g/jour des sécrétions pancréatiques, 1.7 à 1.9 g/jour de la bile, 6.4 g/jour d'urée, 2.0 g/jour de mucus et 5.8 à 8.0 g/jour d'enzymes intestinales et de cellules desquamées.

B.1.2.2 - L'azote d'origine bactérienne

Les microorganismes colonisent l'ensemble du tube digestif : la flore présente dans le gros intestin représente une population à la fois plus nombreuse et plus variée que la flore présente dans la partie proximale du tube digestif (Savage, 1977). Jensen (1988) et Jensen et Jorgensen (1994) ont montré que, chez des porcs sains, le nombre de colonies est plus élevé dans la partie caeco-colique du tube digestif que dans l'estomac et l'intestin grêle mais que l'activité métabolique, estimée par ATP-métrie, était aussi élevée dans la partie distale de l'iléon que dans le caecum ***(Figure 4, p 31)***.

La population microbienne dans l'intestin grêle est dominée par des lactobacilles et des streptocoques qui peuvent coloniser l'épithélium de l'estomac, du duodénum, du jéjunum et surtout de l'iléon, mais on y trouve également des levures (Savage, 1977). Les lactobacilles adhèrent à l'épithélium de l'hôte et certaines espèces adhèrent au mucus et ont une fonction de protection de l'hôte contre la colonisation du tube digestif par des pathogènes (Blomberg et al., 1993 ; Henrickson et al., 1995 ; Henrickson et Conway, 1996). Les dégradations microbiennes sont caractérisées par la production d'acide lactique dans la partie proximale de l'intestin et d'acides gras volatils dans la partie caeco-colique ***(Figure 5, p 31)*** (Clemens et al., 1975, Hedde et al., 1981 a et b). En dépit de l'absence de sécrétion d'enzymes capables de dégrader les polysaccharides non amylacés par le porc, leur digestibilité iléale, n'est pas nulle (Graham et al., 1986a ; Bach Knudsen et al., 1991 ; Rowan et al., 1992 ; Bach Knudsen and Canibe, 1997; Gdala et al., 1997). L'inhibition de la dégradation des polysaccharides non amylacés par l'addition d'antibiotiques dans la ration confirme l'implication de l'activité microbienne dans cette dégradation (Dierick et al., 1986). Selon Dierick et Decuypere (1997), les microorganismes présents dans l'intestin grêle fermentent préférentiellement les hexoses et n'utilisent que rarement les pentoses.

En raison des échanges rapides de matières azotées entre les contenus intestinaux, les microorganismes et l'hôte, il est difficile de connaître avec précision l'origine de l'azote utilisé par les microorganismes pour leurs synthèses. Ils ont la capacité de dégrader l'urée en ammoniac, mais également d'utiliser protéines d'origine alimentaire ou endogène (Fuller et Reeds, 1998). Selon Bartelt et al. (1997), 1.5 à 4.0% de l'azote alimentaire provenant de régimes à base de céréales serait incorporé dans les bactéries à la fin de l'intestin grêle.

En termes de contribution à l'excrétion d'azote à la fin de l'iléon, la mesure de l'acide diaminopimélique (DAPA), acide aminé caractéristique des cellules bactériennes, indique que 20 à 35% (Dierick et al., 1983 ; Poppe et al., 1983 ; Drochner, 1984 ; Wünsche et al., 1991 ; Dugan et al., 1994 ; Bartelt et al., 1997) voire 50% (Schulze et al., 1994a) de l'azote excrété à la fin de l'iléon serait d'origine bactérienne chez le porc en croissance. Chez le

porcelet sevré à 20 jours, cette proportion serait de 14%, 7 jours après le sevrage, et passerait à 20%, 16 jours après le sevrage (Caine et al., 1997a).

B.1.3 - De la sécrétion à l'excrétion : l'importance de la réabsorption

Chez des porcs de 30 kg, alimentés à base de tourteau de soja ou à base de farine de viande, les sécrétions endogènes représentent respectivement 14.2 et 19.0 g N par jour. Cependant seuls respectivement 3.8 et 4.6 g N par jour sont excrétés à la fin de l'iléon (Krawielitzki et al., 1990, 1996). Le taux de réabsorption des sécrétions azotées endogènes atteindrait donc 73.2 à 75.7% ***(Figure 6, p 32).*** Avec de la caséine comme seule source de protéine, Souffrant et al. (1993) calculent, chez des animaux de 50 kg, une sécrétion totale d'azote endogène atteignant 10.7 g/j dont 79% sont réabsorbés avant la fin de l'iléon.

Ces différences entre sécrétion et réabsorption aboutissent à un flux d'azote endogène croissant de l'estomac au second tiers du tube digestif, site principal de réabsorption des sécrétions endogènes, qui décroît ensuite jusqu'à l'iléon terminal (Moughan et al., 1992 ; Grala et al., 1998b) ***(Figure 7, p 32)***.

Peu de données relatives à l'effet de la nature de la source alimentaire sur le taux de réabsorption des sécrétions endogènes existent : selon Grala et al. (1998b), les taux proches de 75% sont obtenus avec des sources protéiques qui n'entraînent pas une sécrétion endogène importante. En revanche, ce taux de réabsorption serait de 51% pour un aliment à base de tourteau de soja riche en facteurs antitrypsiques (3.9 mg trypsine inhibée/g MS), de 69% pour un aliment à base de tourteau de colza riche en fibres (134 g NDF/kg MS), comparé à 75% pour un aliment à base de concentrat de soja ***(Figure 8, p 33)***.

En revanche, le taux de réabsorption dépend de la nature des sécrétions. Les mucines sont résistantes à la protéolyse et ne sont pas réabsorbées (Fuller et Cadenhead, 1991 ; Mariscal-Landin et al., 1995). Par ailleurs, les sels biliaires, sous leur forme déconjuguée, ne sont pas absorbés (Li et al., 1994). Ces deux éléments expliquent la teneur élevée de la protéine endogène excrétée à la fin de l'iléon en proline, acide glutamique, acide aspartique, thréonine et sérine, abondants dans les mucines et en glycine, abondante dans la bile.

B.2 - Pertes azotées endogènes basales

B.2.1 - Les méthodes de mesure

L'excrétion azotée endogène basale est obtenue par la mesure de la quantité d'azote et d'acides aminés excrétée après l'ingestion d'un aliment, soit dépourvu de protéines (protéiprive), soit contenant une protéine supposée totalement digestible. Elle peut également être mesurée, par régression et extrapolation à ingéré protéique nul, au moyen d'aliments à teneur croissante en une source protéique donnée.

B.2.1.1 - Alimentation protéiprive

Peu coûteuse, cette méthode a été la plus communément pratiquée pour estimer l'excrétion azotée endogène basale. Typiquement, l'aliment protéiprive consiste en amidon purifié et sucre en proportions variables, 3 à 5% d'huile, 3 à 5% de cellulose purifiée et un concentré minéral et vitaminique. Dans une récente revue bibliographique, Bastianelli (1996) note une grande variabilité des valeurs d'excrétion endogène d'azote obtenues selon cette technique (2.34±0.96 g N/kg MSI). Par ailleurs, une alimentation dépourvue de protéines a

fréquemment été critiquée en raison de son caractère non physiologique. En particulier, plaçant les animaux en bilan azoté négatif, elle conduirait à une sous-estimation des pertes azotées endogènes (Low, 1980), excepté pour la glycine et la proline (Sauer et al., 1977 ; Taverner et al., 1981 ; De Lange et al., 1989b ; Moughan et al., 1992 ; Stein, 1998b). L'excrétion importante de proline consécutive à l'ingestion d'un aliment protéiprive traduit bien une perturbation du métabolisme azoté de l'animal. Ce surplus de proline excrétée s'explique soit par une mobilisation des réserves azotées corporelles, notamment musculaires (De lange et al., 1989b), soit par une compensation à l'interruption de la fourniture d'arginine dans l'aliment, afin d'assurer la synthèse d'urée (Mariscal-Landin et al., 1995). Cependant, ni l'infusion intraveineuse d'acides aminés libres (De Lange et al., 1989b ; Leterme et al., 1996a), ni l'addition d'acides aminés libres dans l'aliment (Butts et al., 1993a), ne modifient l'excrétion azotée endogène d'animaux recevant un aliment protéiprive, excepté celle de la proline. Ces résultats indiquent que le bilan azoté négatif dans lequel se trouvent les animaux privés de protéine, ne conduit pas à une diminution de l'excrétion endogène basale, pour la plupart des acides aminés.

B.2.1.2 - Régression linéaire

Cette méthode consiste à tester des aliments dans lesquels une source de protéine est introduite à taux croissants. Après établissement de la linéarité entre la quantité d'acides aminés excrétée et la quantité ingérée, l'excrétion azotée endogène basale est calculée par extrapolation à ingéré protéique nul. Cette méthode aboutit à des résultats équivalents à ceux obtenus après l'ingestion d'un aliment protéiprive (Taverner et al., 1981 ; Furuya et Kaji, 1989 ; Donkoh et al., 1999). Cependant, la nature de l'excrétion endogène spécifique liée à la source de protéine utilisée peut conduire à une légère sous-estimation de l'excrétion endogène basale (Mariscal-Landin et al., 1995). Par ailleurs, Fan et al. (1995a) ont souligné l'influence de l'intervalle de variation de la teneur en chacun des acides aminés sur les résultats obtenus. En tous cas, rien ne prouve que cette technique soit plus pertinente que la méthode précédente pour la détermination de l'excrétion azotée endogène basale, et, compte tenu de sa lourdeur (elle nécessite l'emploi de 4 aliments différents) elle ne peut être utilisée en routine.

B.2.1.3 - Incorporation de protéine totalement digestible dans l'aliment expérimental

Cette méthode repose sur l'ingestion, par l'animal, d'un aliment contenant de la caséine ayant subi une prédigestion enzymatique. La protéine alimentaire est donc un mélange d'acides aminés libres et de petits peptides (dipeptides et tripeptides). Bien que cette protéine soit supposée totalement digestible, on prend la précaution d'éliminer des digesta les éventuels composés azotés d'origine alimentaire par ultrafiltration (Butts et al., 1993a). Cependant, selon Moughan et Schuttert (1991), 11% de l'azote endogène serait sous forme d'acides aminés libres : cette méthode entraînerait donc une sous-estimation d'au moins 10% de la perte azotée endogène basale. En dépit de cette sous-estimation, le flux endogène basal obtenu par cette méthode est supérieur à celui qui est mesuré après l'ingestion d'un aliment protéiprive (Moughan et al., 1992 ; Butts et al., 1993a ; Leterme et al., 1996a ; Stein, 1998b ; Donkoh et al., 1999). Selon Butts et al. (1993a) et Donkoh et al. (1999), cette augmentation de l'excrétion azotée endogène serait due à l'action soit des peptides et

protéines présents dans l'aliment, soit des produits de leur dégradation pendant la digestion, sur soit les sécrétions pancréatiques, soit la digestion et l'absorption des sécrétions endogènes.

Cependant, même si cette technique permet, certes, d'obtenir une estimation de l'excrétion azotée endogène plus proche de ce qui se produit en cas d'alimentation protéique, on peut se demander si elle peut être qualifiée de basale. En effet, elle comporte l'excrétion azotée endogène spécifique de la protéine ingérée par l'animal.

B.2.2 - Eléments méthodologiques pouvant affecter l'estimation des pertes azotées endogènes basales

B.2.2.1 - Nature de l'aliment protéiprive

La plupart des données disponibles dans la littérature portent sur la mesure de l'excrétion azotée endogène basale au moyen d'un aliment protéiprive. Nous nous limiterons, dans ce paragraphe, à examiner dans quelle mesure la composition de ce type d'aliment est susceptible de faire varier l'excrétion azotée endogène.

La nature de l'amidon utilisé modifie le flux endogène (Rérat, 1991). En particulier, un aliment protéiprive contenant 90% d'amidon de blé conduirait à une excrétion azotée endogène plus élevée qu'un aliment protéiprive contenant 90% d'amidon de maïs (1.28 vs 0.71 g N/kg MSI) (Darcy et al., 1981). En revanche, la substitution de l'amidon de maïs par 10% d'huile de colza ne modifie pas l'excrétion azotée endogène (De Lange et al., 1989a). Concernant l'effet des fibres, nous nous limiterons ici au taux d'incorporation de cellulose purifiée. Ce parti pris s'explique d'une part, parce que c'est la source de fibre la plus couramment utilisée pour la constitution d'aliments protéiprives et, d'autre part, parce que l'introduction d'autres sources de fibres relève davantage de l'étude de l'excrétion azotée endogène spécifique que de celle de l'excrétion azotée endogène basale (Sève et Henry, 1996). Selon De Lange et al. (1989a), Leterme et al. (1992) et Furuya et Kaji (1992), l'augmentation du taux d'incorporation de cellulose purifiée dans un aliment protéiprive (3 à 10% ; 3 à 12% et 3 à 16%, respectivement) n'a aucune influence sur l'excrétion azotée endogène (g/kg MSI). Ces résultats signifieraient que l'utilisation de cellulose purifiée, relativement neutre en termes de stimulation de l'excrétion azotée endogène, serait appropriée pour la correction de la digestibilité apparente en digestibilité vraie.

Selon Sauer et al. (1977), Taverner et al. (1981) et Green et al. (1987), l'augmentation du taux de cellulose purifiée dans l'aliment (5 à 15%, 0 à 5% et 6 à 9%) entraîne une augmentation de l'excrétion azotée endogène (g/kg MSI) (+31, +50 et +39% respectivement). Cependant, comme discuté au paragraphe suivant, l'effet imputé à l'augmentation du taux d'incorporation de cellulose dans l'étude de Sauer et al. (1977), pourrait avoir pour origine une diminution du niveau alimentaire de 77 à 54 g MSI/kg $PV^{0.75}$ avec l'augmentation du taux de fibres de l'aliment de 5 à 15%. De même, dans l'étude de Green et al. (1987) et celle de Taverner et al. (1981), les aliments protéiprives n'ont pas été distribués ni à des animaux de poids identiques ni à niveaux alimentaires équivalents : leur interprétation en termes d'effet du taux de cellulose dans l'aliment est hasardeuse.

B.2.2.2 - La technique de collecte des digesta

Bastianelli (1996) note une moindre excrétion azotée endogène chez des animaux munis d'une anastomose iléo-rectale termino terminale plutôt que d'une canule PVTC (1.34 vs 2.68 g/kg MSI) ; le profil des digesta ne diffère cependant

pas d'une technique à l'autre. Ces différences pourraient cependant être dues au type d'aliment distribué aux animaux puisque, pour tous les animaux anastomosés, l'excrétion azotée endogène basale a été mesurée soit à partir d'un aliment protéiprive, soit par régression. Avec un aliment protéiprive, Picard et al. (1984) obtiennent des profils équivalents que la mesure soit faite sur des animaux munis d'une anastomose iléo-rectale ou d'une canule ré-entrante. Leterme et al. (1990), à partir d'un aliment protéiprive, notent la même excrétion azotée endogène chez des animaux munis d'une anastomose iléo-rectale termino-terminale et chez des animaux munis d'une canule en T (1.38 g/kg MSI). Peu de données portent sur le vieillissement de la préparation chirurgicale et en particulier celui de l'anastomose sur l'excrétion azotée endogène basale : en général, cet effet est confondu avec celui du poids de l'animal. Cependant, à niveau alimentaire constant, le vieillissement de l'anastomose ne modifierait ni l'excrétion azotée endogène basale (g/kg MSI) ni le profil de la protéine endogène, chez des animaux recevant un aliment protéiprive (Hess et Sève, 1999a).

B.2.2.3 - Poids de l'animal et niveau alimentaire

De nombreux auteurs obtiennent bien, pour la plupart des acides aminés, une relation linéaire entre la quantité de matière sèche ingérée et l'excrétion azotée endogène basale, mais avec une ordonnée à l'origine non nulle (Butts et al., 1993b ; Mariscal-Landin et al., 1995 ; Bastianelli, 1996), suggérant la non proportionnalité directe entre ces deux variables, dans certaines conditions de niveau alimentaire et/ou de poids des animaux.

Avec un aliment protéiprive, Furuya et Kaji (1992), sur des porcs de 49 kg et, Hess et Sève (1999a), sur des porcs de 45 kg, notent une diminution de l'excrétion azotée endogène basale (52% et 28%, respectivement) lorsque le niveau alimentaire augmente (de 37 à 73 g MSI/kg $PV^{0.75}$ et de 50 à 90 g MSI/kg $PV^{0.75}$, respectivement). Selon Mariscal-Landin et al. (1995) et Hess et Sève (1999a), la linéarité entre la quantité de matière sèche ingérée (g/j) et l'excrétion azotée endogène (g/j) ne serait plus observée lorsque le niveau alimentaire est inférieur à 70 g MSI/kg $PV^{0.75}$. Toujours avec un aliment protéiprive, cet effet du niveau alimentaire est également observé chez des animaux plus lourds (92 kg) et un niveau alimentaire variant 23 à 45 g MSI/kg $PV^{0.75}$ (Furuya et Kaji, 1992) ou même chez des truies en gestation dont le niveau alimentaire varie d'environ 31 à 63 g MSI/kg $PV^{0.75}$ (Stein, 1998a). Cependant, sur des animaux de 80 kg, Hess et Sève (1999a) ne notent aucun effet du niveau alimentaire lorsqu'il varie dans des limites plus conforme à ce qui est habituellement pratiqué (50 à 90 g MSI/kg $PV^{0.75}$), et conclut que l'effet du niveau alimentaire est sensible surtout chez les animaux jeunes.

Par ailleurs, avec des animaux recevant un aliment contenant de la caséine hydrolysée supposée totalement digestible, Hodgkinson et al. (1997) et Stein (1998d) concluent à une diminution de l'excrétion azotée endogène (g/kg MSI) avec l'augmentation du poids des animaux de 40 à 85 kg et de 35 à 95 kg respectivement. Hess et Sève (1999a) font la même observation avec des animaux pesant entre 45 et 80 kg et recevant un aliment protéiprive. Cependant, selon Stein (1998d), l'excrétion azotée endogène (g/kg MSI) n'augmenterait que chez des animaux de poids vif inférieur à 60 kg pour se stabiliser ensuite.

Concernant le profil de la protéine endogène, Bastianelli (1996) ne note aucun effet du poids de l'animal. Avec un aliment protéiprive, Hess et Sève (1999a) ne trouvent aucun effet ni du niveau alimentaire (50 à 90 g MSI/kg $PV^{0.75}$) ni du poids de l'animal (45 ou 80 kg) sur le profil de la protéine endogène. En revanche, Stein (1998d) observe une modification du profil de la protéine endogène avec la modification du poids des animaux avec, notamment, un enrichissement en acide glutamique, méthionine et isoleucine et un appauvrissement en glycine lorsque le poids vif passe de 36 à 95 kg. Cependant, dans cette étude, le niveau alimentaire diminue de 120 à 79 g/kg $PV^{0.75}$lorsque le poids des animaux augmente.

Les principaux facteurs de variation de l'excrétion azotée endogène basale sont donc désormais cernés et, à condition de travailler à des niveaux alimentaires convenables (> 70 g MSI/kg $PV^{0.75}$), on peut espérer déterminer, avec un aliment protéiprive, l'excrétion azotée endogène basale d'animaux de plus de 60 kg sans trop de difficulté. Reste à prendre en compte l'effet de l'augmentation du poids vif des animaux entre 30 et 60 kg, qui, d'après Hess et Sève (1999a), pourrait atteindre 16mg N/kg PV. De même, l'effet possible du poids de l'animal sur le profil de la protéine endogène, qui ne serait pas sans conséquence sur la détermination de l'excrétion azotée endogène totale, reste à vérifier.

Cependant, l'individu pourrait être la principale cause de variabilité de l'excrétion azotée endogène basale. Selon Boisen et Moughan (1996) , cette variabilité animale expliquerait en grande partie la large plage de variation de l'excrétion azotée endogène basale rapportée dans la littérature. En raison de cette variabilité animale, certains auteurs préconisent de calculer la digestibilité iléale vraie au moyen de valeurs d'excrétion azotée endogène basale individualisées par animal (Green et al., 1987 ; Hess et Sève, 1999a).

B.3 - Excrétion azotée endogène totale

B.3.1 - Les méthodes de mesure

Trois grandes catégories de techniques sont pratiquées pour la détermination de l'excrétion azotée endogène totale : régression linéaire multiple, méthode à l'homoarginine et dilution isotopique.

B.3.1.1 - La régression linéaire multiple

Proposée par Duvaux et al. (1990), cette méthode repose sur une régression linéaire multiple de la composition en acides aminés des digesta sur celles de la protéine endogène basale, de protéines endogène purifiées, de protéines bactériennes et de protéines alimentaires. Elle permet en particulier de distinguer, dans les digesta, la fraction d'origine endogène (ou microbienne) de la fraction d'origine alimentaire et ainsi de calculer la digestibilité iléale réelle des acides aminés d'une matière première. Elle a été utilisée par Le Guen et al. (1995) sur le pois et par Lechevestrier (1996) sur diverses matières premières. Cette méthode, qui repose sur un calcul mathématique, ne génère aucun surcoût expérimental à la mesure de digestibilité proprement dite. La première approximation liée à cette méthode est liée au fait que les proportions en chacun des acides aminés dans les digesta sont considérées comme indépendantes les unes des autres. Par ailleurs, cette méthode nécessite de fractionner a priori la protéine alimentaire en fractions protéiques distinctes, selon leurs propriétés fonctionnelles ou encore selon leur localisation dans la matière

première. Par exemple, Le Guen et al. (1995) ont comparé le profil des digesta à ceux de différentes fractions protéiques du pois (albumine, globuline, légumine et viciline) et Lechevestrier (1996) a fractionné le grain de céréale en protéine localisée ou non dans le résidu NDF. Théoriquement, elle permet d'évaluer la modification du profil de la protéine endogène consécutive à l'ingestion d'une matière première donnée, notamment, la modification de la proportion de protéine d'origine bactérienne dans les digesta (Le Guen et al., 1995). Cependant, les résultats obtenus sont très dépendants des protéines de référence utilisées et de leur corrélation entre elles (Lechevestrier, 1996).

B.3.1.2 - Marquage de l'aliment à l'homoarginine

Proposée par Hagemeister et Ebersdobler (1985), cette méthode repose sur la transformation de la lysine alimentaire en homoarginine par la guanidination de la protéine alimentaire. L'homoarginine est absente de toutes les protéines corporelles et n'est donc pas présente dans les sécrétions endogènes (Moughan et Rutherford, 1990). Toute l'homoarginine collectée au niveau iléal est donc d'origine alimentaire. En supposant que l'homoarginine présente une digestion et une absorption équivalentes à celles de la lysine (Schmitz et al., 1991), on peut estimer la digestibilité iléale réelle de la lysine ainsi que les pertes endogènes de lysine. Cependant, si la conversion de la lysine en homoarginine est proche de 100% pour la caséine ou la gélatine (Rutherford et Moughan, 1990 ; Schmitz et al., 1991), le taux de conversion de la lysine varie de 40 à 80% dans divers tourteaux d'oléagineux (Marty et al., 1994 ; Siriwan et al., 1994). Par ailleurs, le traitement de la matière première lors de la guanidination entraînerait une modification de la structure de la protéine alimentaire pouvant conduire à une modification de sa digestion (Drescher et al., 1994). En tout état de cause, cette méthode permet d'estimer les pertes endogène et la digestibilité réelle de la lysine uniquement. Pour estimer les données relatives aux autres acides aminés certains auteurs attribuent la digestibilité réelle de la lysine à tous les acides aminés (Imbeah et al., 1996 ; Caine et al., 1997b, 1998), alors que d'autres calculent l'excrétion endogène de chacun des acides aminés à partir du profil de la protéine endogène déterminée après l'ingestion d'un aliment protéiprive (Marty et al., 1994 ; Nyachoti et al., 1997a).

B.3.1.3 - Dilution isotopique

Cette méthode repose sur le marquage isotopique différent de l'animal et de l'aliment. La plupart du temps, on utilise soit l'isotope de l'azote de masse moléculaire 15 (^{15}N) ou, plus rarement, l'isotope du carbone de masse moléculaire 13 (^{13}C).

B.3.1.3.1 - Marquage de l'animal

La première variante consiste en un marquage de l'animal par un acide aminé marqué à l'azote 15. La leucine est l'acide aminé le plus souvent utilisé en raison de son prix mais également parce que, par transamination, elle permet le transfert de son azote marqué à l'isoleucine et la valine ainsi qu'à la glycine, l'alanine et la proline (Leterme et al., 1997). De façon générale, le marquage de l'animal est effectué par perfusion intraveineuse de leucine marquée. Progressivement, la fraction du plasma soluble dans l'acide trichlore acétique (TCA) (acides aminés libres, peptides, urée, ammoniac) s'enrichit en en ^{15}N (Schulze et al., 1995a), pour arriver à un plateau considéré comme un état

d'équilibre auquel les mesures de digestibilité doivent être effectuées. En supposant que l'enrichissement en azote marqué de la fraction soluble dans le TCA est identique à celui de la protéine endogène, on calcule la contribution de la protéine endogène à l'excrétion totale de protéines. Pour calculer l'excrétion azotée endogène totale de chacun des acides aminés, on suppose que la protéine endogène a un profil indépendant de la matière première ingérée (De Lange et al., 1990). Cette méthode requiert donc qu'on travaille lorsque l'état d'équilibre est atteint et que le précurseur utilisé soit bien représentatif de l'enrichissement des sécrétions endogènes. A cet égard, un certain nombre de problèmes méthodologiques n'ont pas encore été pleinement résolus. L'état d'équilibre est difficilement atteint puisque l'enrichissement plasmatique fluctue au cours de la journée en raison de l'apport, par les repas, de nutriments non enrichis : selon Leterme et al. (1996b), les acides aminés alimentaires apparaissent en moins d'une heure dans les sécrétions pancréatiques. Lien et al. (1997) suggèrent de prélever des échantillons toutes les heures pendant 12 heures après le repas pour estimer l'enrichissement. De plus, Hess et al. (1998) indiquent que l'enrichissement des acides aminés dans la veine porte est plus proche de celui des sécrétions digestives que celui du sang systémique, habituellement utilisé comme référence dans ce type de mesure. Enfin et surtout, selon Lien et al. (1997), la proportion importante d'azote non protéique présente dans le plasma sanguin, globalement moins enrichi en ^{15}N que l'azote protéique, conduit à une surestimation globale des pertes azotées endogènes. Les valeurs extrêmement élevées (>100%) de digestibilité iléale réelle des acides aminés calculées par De Lange et al. (1990) le confirment. Hess et al. (1998) et Leterme et al. (1997) proposent de travailler acide aminé par acide aminé plutôt que de travailler à partir de l'enrichissement plasmatique de l'azote. Cependant, l'usage de la leucine marquée ne permet de travailler que sur un nombre limité d'acides aminés, dont la plupart des acides aminés indispensables sont exclus : Leterme et al. (1997) proposent, pour améliorer la méthode, de procéder à l'infusion de plusieurs acides aminés marqués plutôt que de la seule leucine.

B.3.1.3.2 - Marquage de l'aliment

La seconde méthode repose sur le marquage de la matière première par l'apport d'engrais marqué au ^{15}N ou, sous serre, par un marquage au ^{13}C. En raison de la complexité de sa mise en œuvre, cette méthode a été moins utilisée que la précédente (Roos et al., 1994 ; Leterme et al., 1996b ; Souffrant et al., 1997 ; Hess et al., 1999). Le principal avantage de cette technique est qu'elle permet le marquage de l'ensemble des acides aminés et donc de calculer la digestibilité réelle et les pertes endogènes pour chacun d'eux. Cependant, cette méthode risque d'aboutir à la sous-estimation des pertes endogènes, en raison du recyclage extrêmement rapide des acides aminés alimentaires dans les sécrétions endogènes (Leterme et al., 1996b). Selon Hess et al. (1999), même si elle conduit à une sous estimation des pertes endogènes, cette technique serait la plus appropriée. Cependant, des collectes représentatives doivent pouvoir être effectuées dans les 4 heures suivant l'ingestion de l'aliment marqué, ce qui, dans le cas de matières premières fibreuses (son de blé), qui ont un impact important sur la vitesse de transit des digesta, peut conduire à des problèmes insurmontables (Hess et Sève, 1999b).

C - CONCLUSION

Les techniques les plus couramment utilisées pour la collecte de digesta à la fin de l'iléon sont désormais au point et permettent des mesures en routine, comparables entre elles, au moins pour la canulation PVTC et l'anastomose iléo-rectale termino terminale. L'anastomose iléo-rectale termino terminale, même sans préservation de la valvule iléo-caecale, permet de mesurer la digestibilité iléale des acides aminés, y compris sur le long terme. Concernant la détermination de l'excrétion azotée endogène basale, l'usage d'un aliment protéiprive semble être une méthode de choix, si certaines précautions, en particulier en termes de niveau alimentaire, sont prises. Reste à évaluer l'impact de la variabilité individuelle constatée lors des mesures d'excrétion azotée endogène basale sur le calcul de la digestibilité iléale vraie.

Aucune méthode d'estimation de l'excrétion azotée endogène totale et de la digestibilité réelle des acides aminés n'est actuellement satisfaisante. La méthode de marquage de l'aliment à l'homoarginine a montré ses limites. En revanche, les méthodes de marquage de l'aliment ou de l'animal l'azote ^{15}N font encore l'objet de mises au point, et représentent vraisemblablement l'avenir. En dépit de ces imprécisions méthodologiques, un certain nombre de données ont été publiées et il convient de les utiliser avec précaution. Reste le calcul de l'excrétion azotée endogène totale par régression : même si cette technique comporte également ses limites, elle peut constituer une alternative intéressante, et peu coûteuse, pour tenter de différentier les pertes alimentaires des pertes endogènes à la fin de l'iléon, sur des matières premières dont on a mesuré la digestibilité.

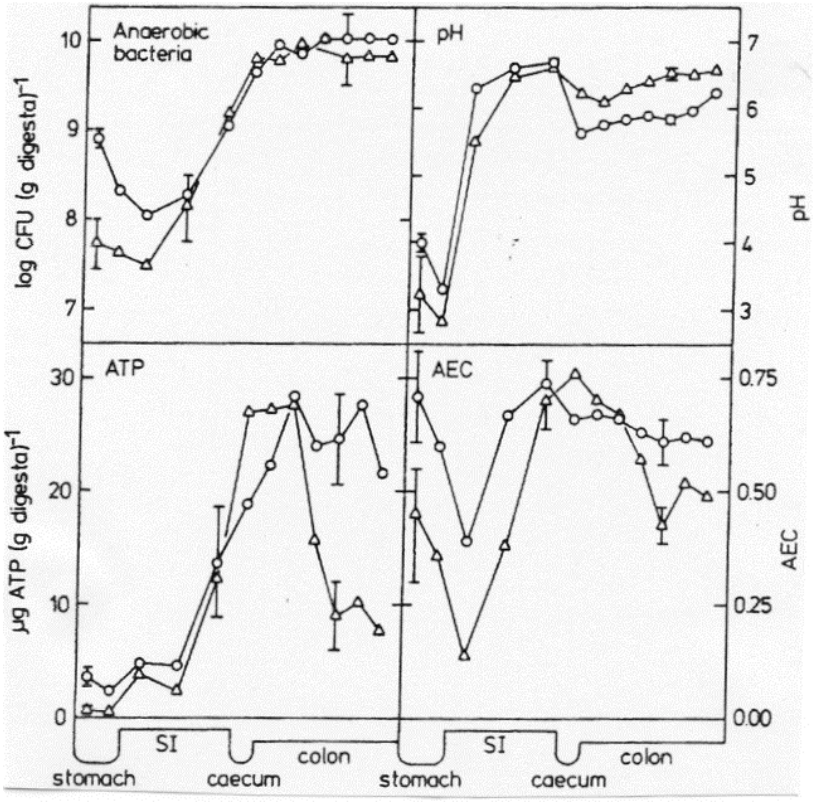
Tableau 4 : Comparaison de différentes techniques chirurgicales pour la mesure de la digestibilité iléale apparente de l'azote (%)

Aliment[1]	C-T	AIR-TT	C-R	PVTC
Leterme et al. (1990)				
64.4% Pois + 23.4% Amidon de maïs + 2.1% cellulose + 5% sucre	74	70		
Köhler et al. (1990)				
23.6% Maïs + 19.0% Orge + 30.0% Blé + 18.4% T. Soja + 5.0% Molasses	79	-	80	80
25.9% Maïs + 8.0% Orge + 15.0% Blé + 18.1% T. Soja + 5% Molasses + 10.2% pulpes de pdt + 10.2% pulpes de betteraves + 4% pectines (pomme)	71	-	73	70
23.8% Maïs + 12.3% Orge + 18.1% T. Soja + 5.0% Molasses + 15% Avoine + 10% enveloppes d'avoine + 9% Luzerne + 3.3% paille de blé	66	-	73	72
22.3% Isolat de soja + 28.2% Amidon (blé) + 28.2% Amidon (maïs) + 6.0% cellulose + 4.0% huile + 4.0% suif	-	-	92	92
Fuller et al. (1994)				
96% Orge	59	64		
48% Orge + 11.6% Lait écrémé + 31.3% Amidon de maïs + 4.1% Cellulose + 1% huile	76	72		
23% Lait écrémé + 63.5% Amidon de maïs + 8.2% Cellulose + 1.6% Huile	79	80		
Torrallardona et al. (1997a)				
94.5% Orge	67	69		
94.5% Blé	79	79		
39.5% T. soja + 27.5% Amidon de maïs + 27.5% sucre	81	82		
47.3% T. Tournesol + 23.6% Amidon de maïs + 23.6% sucre	63	74		

[1] Le complément à 100% est constitué de minéraux et vitamines, C-T : canule en T ; AIR-TT : anastomose iléo-rectale termino-terminale ; C-R : canule réentrante ; PVTC : canule Post-valve T caecum

Figure 4 : Nombre de bactéries, pH, concentration en ATP et AEC[1] dans différentes régions du tube digestif de porcs adultes pour deux aliments différant quant à leur teneur en fibres

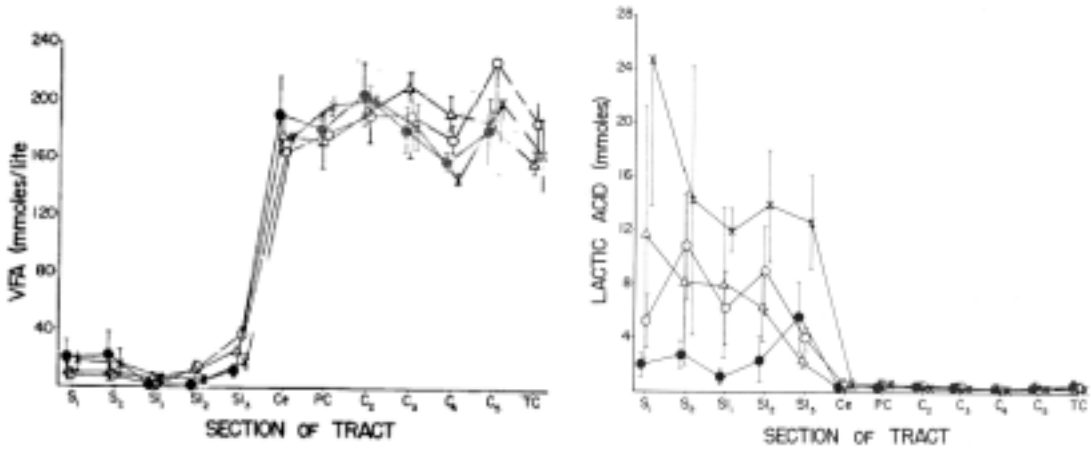
(riche en fibres : O ; pauvre en fibres : ∇) (Jensen et Jorgensen, 1994)



[1] AEC : adénylate energy charge (ATP+0.5ADP)/(ATP+ADP+AMP)

Figure 5 : Quantité d'acide lactique et d'acides gras volatils dans les contenus intestinaux de porcs adultes

(Clemens et al., 1975)



(les différents symboles correspondent à la durée qui sépare le prélèvement du repas (heures) - • : 0 ou 12 ; Δ : 2 ; o : 4 ; x : 8

S : estomac : SI : intestin grêle ; Ce : caecum ; PC : côlon proximal ; C : Côlon ; TC : côlon terminal

Figure 6 : Flux, sécrétion et absorption d'azote (g/j) dans 3 sections du tube digestif de porcs de 30 kg estimée par marquage à l'^{15}N et échange de digesta

(Fuller et Reeds, 1998, d'après Krawielitzki et al. (1990)).

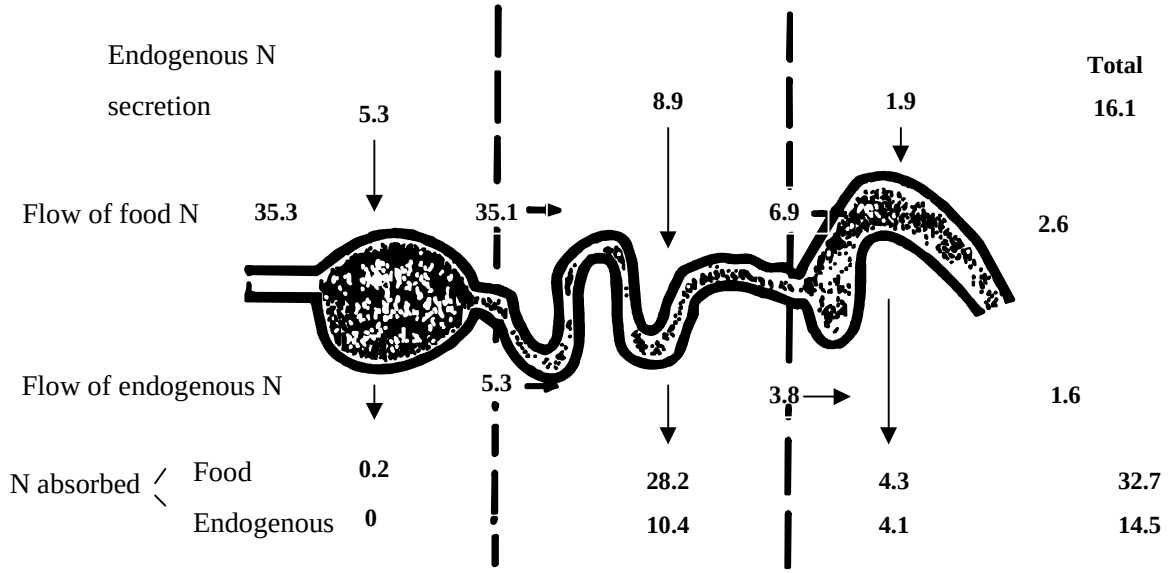
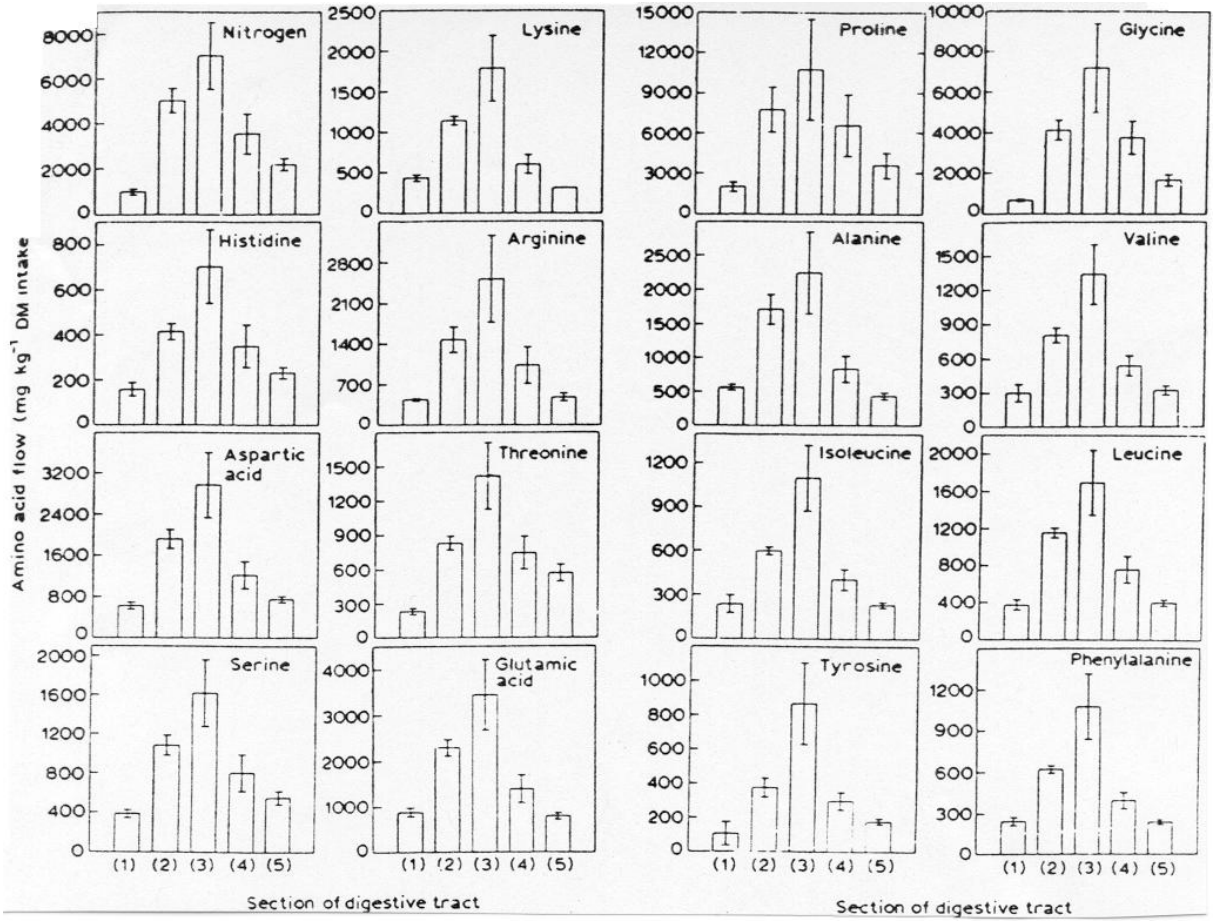


Figure 7 : Flux d'azote et d'acides aminés dans différentes sections du tube digestif de porc de 15 kg recevant un aliment protéiprive

(Moughan et al., 1992)

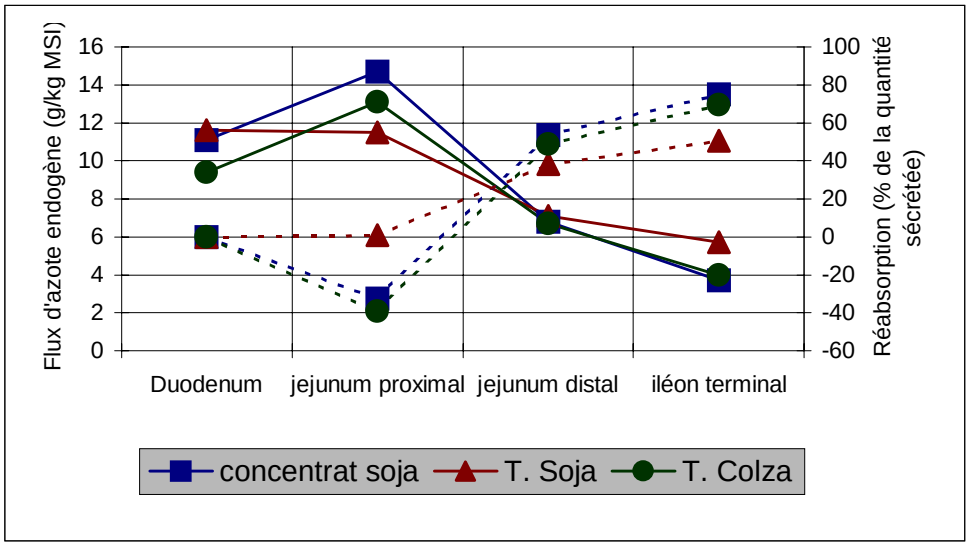


(1) estomac ; (2) premier tiers de l'intestin grêle ; (3) second tiers de l'intestin grêle ; (4) dernier tiers de l'intestin grêle ; (5) iléon terminal

Figure 8 : Flux d'azote endogène[1] (g/kg MSI) et taux de réabsorption[2] (%) des sécrétions endogènes dans l'intestin grêle de porcs de 30 kg recevant des aliments à base de concentrat de soja, de tourteau de soja riche en inhibiteurs trypsiques ou de tourteau de colza riche en fibres

(d'après Grala et al., 1998b)

[1] trait plein [2] pointillés



III - Facteurs de variation de la digestibilité iléale des acides aminés : facteurs antinutritionnels

Un certain nombre de composants de l'aliment peuvent conduire à une diminution de la digestibilité iléale apparente (ou vraie) des acides aminés, soit par diminution de la digestibilité réelle, soit par augmentation de l'excrétion d'azote endogène, soit les deux. Ces facteurs antinutritionnels, présents naturellement dans les matières premières, sont des composés de natures et propriétés physico-chimiques très variables. Dans cette partie, nous nous intéresserons principalement aux deux familles de facteurs antinutritionnels qui ont été les plus étudiées : les fibres et les inhibiteurs trypsiques. Pour mémoire, nous citerons les effets possibles des lectines et des tannins.

A - LES FIBRES

A.1 - Nature des fibres

On désigne par fibres alimentaires les polysaccharides non amylacés (PSNA) constitutifs des parois végétales auxquels on ajoute la lignine. Les principaux PSNA des parois cellulaires sont la cellulose, les hémicelluloses (arabinoxylanes, β-glucanes mixtes) et substances pectiques (rhamnogalacturonanes, arabinogalactanes) (Bach Knudsen et Johansen, 1995). La lignine est l'un des principaux composants non glucidique (polymère d'alcool phénylpropénoïque) des parois végétales et se trouve étroitement associée aux PSNA pariétaux.

Les principaux PSNA des céréales sont les arabinoxylanes, les β-glucanes et la cellulose. Les arabinoxylanes sont les principaux PSNA trouvés dans les parois cellulaires des enveloppes, de la couche à aleurone (toutes céréales) et de l'endosperme (blé, seigle). La

majeure partie de la cellulose se trouve dans les enveloppes. Les β-glucanes constituent environ un quart des parois cellulaires des cellules de l'aleurone de blé. Leur présence est surtout importante dans les grains d'orge et d'avoine et peuvent constituer 70% des parois cellulaires de l'endosperme de ces espèces (Evers et al., 1999). Les principaux PSNA solubles sont les arabinoxylanes dans le blé et le seigle et les β-glucanes dans l'avoine et l'orge (Bach Knudsen, 1997). Pour les tourteaux d'oléagineux, les principaux PSNA non cellulosiques sont des substances pectiques, dont une grande part est soluble.

A.2 - Effet des fibres sur la digestibilité

Parmi les causes possibles de diminution de la digestibilité de la protéine et des acides aminés mesurée au niveau iléal avec l'augmentation de la teneur en fibre du régime on cite : l'augmentation des sécrétions endogènes, la prolifération microbienne, la modification de la vitesse de transit des digesta, l'adsorption des enzymes digestives, l'adsorption des produits de la digestion des protéines endogènes ou alimentaires, la formation de gels visqueux limitant le contact entre les enzymes et leur substrat ainsi que l'absorption des produits de la digestion, la desquamation des cellules intestinales ou encore l'emprisonnement des contenus cellulaires dans des structures fibreuses (Dierick et al., 1983 ; Nyachoti et al., 1997b). Le mécanisme d'action des fibres ou même leur effet est sujet à controverse. En particulier, l'étude de l'effet d'un type de fibre ou du niveau d'incorporation de fibres sur la digestibilité iléale des acides aminés (Dierick et al., 1983), l'excrétion azotée endogène (Schulze et al., 1994a, Schulze et al., 1995b, Mariscal-Landin et al., 1995 ; Leterme et al., 1996c) ou encore l'activité microbienne dans la partie proximale du tube digestif (Jensen et Jorgensen, 1994) est effectuée à partir de sources de fibres purifiées, ou reconstituées, introduites dans des aliments semi-synthétiques. Pour le cas particulier des hémicelluloses, on a souvent recours à l'addition d'enzymes dans l'aliment (Graham et al., 1986a ; Torralardonna et al., 1997b; Gdala et al., 1997, Jensen et al., 1998). Cependant, les résultats obtenus à partir d'aliments semi-synthétiques sont souvent beaucoup plus « contrastés » lorsque les animaux reçoivent un aliment à base de céréales (Graham et al., 1986b ; den Hartog et al., 1988 ; Lindberg et Cortova, 1995 ; Bartelt et al., 1997). Par ailleurs, les cocktails enzymatiques utilisés présentent souvent une activité sur divers substrats (cellulose, hémicellulose) et les effets que l'on mesure sont parfois difficiles à interpréter (Jensen et al., 1998). Cependant, même si ces méthodes sont critiquables, elles présentent l'avantage de pouvoir isoler, même si c'est de manière imparfaite, le facteur dont on étudie l'effet.

A.3 - Effet des fibres alimentaires sur les sécrétions et l'excrétion azotées endogènes

Selon certains auteurs, les fibres modifient les sécrétions gastriques, biliaires pancréatiques et intestinales (Rérat, 1991). Cet effet possible des fibres sur les sécrétions endogènes est cependant controversé, vraisemblablement en raison de la difficulté à mesurer ces sécrétions, mais également de l'effet probablement variable selon le type de fibre utilisé (Rérat, 1991). En particulier, selon Mosenthin et Sauer (1991) et Mosenthin et al. (1994), l'addition de cellulose purifiée, de pectine purifiée ou de paille d'orge dans un aliment contenant de l'amidon de maïs et du tourteau de soja n'a d'effet ni sur la sécrétion pancréatique d'azote sur celle des enzymes protéolytiques pancréatiques chez des

porcs de plus de 60 kg. Par ailleurs, selon Grala et al. (1998b), l'augmentation de l'excrétion azotée endogène liée à une augmentation du taux de fibres, dans des aliments à base de tourteau de colza, serait davantage lié à une diminution du taux de réabsorption des sécrétions qu'à leur augmentation.

L'impact des fibres sur l'activité microbienne dans la partie proximale du tube digestif est également controversé : Jensen et Jorgensen (1994), chez des porcs de 7 mois, mesurent une augmentation de l'activité microbienne lorsqu'un aliment à base d'orge et d'amidon de blé est additionné de fibres de pois. En revanche, Bartelt et al. (1997) ne détectent aucun effet de l'addition d'un mélange de paille hydrolysée et de pectine (2/1) dans des aliments à base de céréale chez des animaux de 23 kg, ni sur l'excrétion azotée endogène d'azote, ni sur le pourcentage de protéine d'origine microbienne à la fin de l'iléon.

Il semble que le principal effet des fibres sur l'excrétion azotée endogène soit lié à l'augmentation de l'excrétion de mucus. Qu'il s'agisse de fibres riches en pectines (Mosenthin et al., 1994 ; Leterme et al., 1996c) ou de fibres riches en lignocellulose (Mariscal-Landin et al., 1995) les acides aminés les plus sensibles à la variation de teneur en fibre sont la proline, l'acide glutamique, l'acide aspartique, la thréonine et la sérine, qui sont des acides aminés abondants dans le mucus. Plus directement, Mariscal-Landin et al. (1995) ont montré l'augmentation linéaire de l'excrétion endogène de sucres aminés avec l'incorporation de fibres dans l'aliment ***(Figure 9, p 40).***

Concernant le niveau de fibres, certains auteurs (Schulze et al., 1994a) notent une augmentation linéaire de l'excrétion endogène d'azote avec le taux d'incorporation de NDF purifié à partir de son de blé. Cependant, selon Mariscal-Landin et al. (1995), il existerait un plateau, situé à environ 71 g NDF/kg MS, au delà duquel l'excrétion d'acides aminés d'origine endogène cesserait d'augmenter ***(Tableau 5, p 41 ; Figure 10, p 41).***

Mais le type de fibres serait le principal facteur de variation. Certains auteurs ont tenté, par l'usage de régimes semi-synthétiques, d'estimer l'augmentation de l'excrétion azotée endogène en relation avec l'inclusion de fibres dans l'aliment. Comme indiquée précédemment ***(§ II - B.2.1.1 - , p*** *Erreur! Signet non défini.****)***, l'addition de cellulose purifiée serait sans effet sur l'excrétion azotée endogène. En revanche les fibres présentant une grande capacité de rétention en eau et, plus particulièrement les pectines, entraîneraient une augmentation substantielle de l'excrétion azotée endogène (De Lange et al., 1989a ; Mosenthin et al., 1994 ; Leterme et al., 1996c). Ces auteurs indiquent, que de par leur capacité de rétention élevée en eau, ce type de composé serait à même de former des gels visqueux dans la lumière intestinale, à l'origine d'une sécrétion accrue, en particulier de mucus, mais également d'un taux de réabsorption réduit. Des fibres pratiquement dépourvues de pectines sont également à l'origine de modification de l'excrétion azotée endogène (Mariscal-Landin et al., 1995 ; Schulze et al., 1994a, 1995b) ***(Tableau 5, p 41 ; Figure 10, p 41)***.

Les mécanismes mis en œuvre seraient l'augmentation des sécrétions due à un effet mécanique des fibres mais également la capacité d'adsorption des acides aminés en particulier par la lignine, qui limiterait l'absorption des acides aminés d'origine endogène (Bergner et al., 1981).

A notre connaissance, aucune donnée relative à l'addition d'hémicelluloses solubles ou insolubles dans l'aliment sur l'excrétion endogène n'existe

dans la littérature. De façon générale, on impute à ces composés des propriétés équivalentes à celles des pectines (capacité de rétention d'eau, formation de gels visqueux dans l'intestin) conduisant également à une augmentation de l'excrétion endogène. Cet effet n'est pas prouvé chez le porc (Jensen et al., 1998). Cependant, chez des animaux de 13 à 18 kg, Schulze et al. (1995b) notent une excrétion azotée endogène plus élevée, à NDF constant, lorsque du son de blé (69% hémicelluloses, 31% lignocellulose) plutôt que des coques de tournesol (27% hémicelluloses, 73% lignocellulose) est additionné à un régime semi-synthétique.

A.4 - Effet sur la digestibilité réelle

Les propriétés physico-chimiques des fibres décrites ci-dessus (capacité de rétention d'eau, formation de gels visqueux, adsorption des enzymes ou des produits de la digestion) ont vraisemblablement un effet sur la digestion et l'absorption des acides aminés d'origine alimentaire. Cependant, ces effets n'ont pas été clairement évalués.

En revanche, il semble que la digestibilité réelle des acides aminés des matières premières végétales soit en grande partie liée à la dégradation des parois végétales par les microorganismes et à la libération des contenus cellulaires qu'elle permet. Dans le blé, les fibres contenues dans l'endosperme sont plus facilement dégradées que les fibres de la couche à aleurone ou celles des enveloppes. Ces différences sont liées à la solubilité des PSNA contenus dans chacune de ces parties du grain : plus les parois sont lignifiées ou riches en fibres insolubles, plus la digestion dans l'intestin grêle est faible en raison d'une attaque préférentielle des composés solubles par les microorganismes (Bach Knudsen et Hansen, 1991 : Bach Knudsen et al., 1991). Dans les expériences destinées à mesurer l'impact de l'addition d'enzymes dans les aliments sur la digestibilité iléale des acides aminés de l'orge ou du blé, des effets positifs sont mesurés en présence d'une activité cellulasique dans le cocktail utilisé (Torrallardona et al., 1997b ; Baidoo et al., 1998) alors que, lorsque l'activité hémicellulasique est prédominante (β-glucanase ou xylanase) (Graham et al., 1986a ; Gdala et al., 1997 ; Jensen et al., 1998), aucun effet n'est détecté. Dans divers types de matières premières (céréales, tourteaux d'oléagineux), Lechevestrier (1996) calcule que les acides aminés d'origine alimentaire retrouvés à la fin de l'iléon correspondent aux acides aminés piégés dans le NDF (fibres insolubles). Sève et al. (1994) font la même observation avec des issues de meunerie et calculent une corrélation négative entre la digestibilité iléale vraie des acides aminés et la proportion des acides aminés totaux liés au NDF. Mitaru et al. (1984), Bjergegaard et al. (1991) et Grala et al. (1999) montrent que l'azote contenu dans des pellicules de colza est pratiquement entièrement retrouvé à la fin de l'iléon. Selon ces auteurs, ce critère analytique rend compte de « l'effet de piège » exercé par les fibres insolubles sur les contenus cellulaires.

A.5 - Comment caractériser les fibres d'une matière première ?

En raison de l'effet variable des fibres sur l'excrétion azotée endogène et la digestibilité des acides aminés, certains auteurs suggèrent de mesurer non pas la quantité de fibre ingérée mais leurs propriétés tels que leur viscosité (Larsen et al., 1993) ou leur capacité de rétention en eau (Leterme et al., 1996c). Cependant, d'une part, les mesures de viscosité sont délicates à mettre en œuvre (Larsen et al., 1993 ; Grosjean et al., 1999a) et d'autre part,

dans la lumière intestinale, les hémicelluloses insolubles sont solubilisées par l'action de la flore microbienne (Bach Knudsen et Hansen, 1991 Bach Knudsen et al., 1991) et la viscosité alimentaire est sans rapport avec la viscosité intestinale comme le montrent les données de Gâtel et al. (1997) sur le blé et l'orge. En particulier, Lewis et al. (1998) ne notent aucune relation entre la viscosité d'un extrait aqueux de blé et l'excrétion azotée endogène chez le porc. Par ailleurs, la pertinence de la mesure de la viscosité des contenus intestinaux chez le porc reste à prouver : chez des animaux de 10-15 kg, Jensen et al. (1998) ont bien montré que les β-glucanes de l'orge jouent un rôle important sur la viscosité des digesta. Cependant, l'addition de β-glucanase permet de diminuer la viscosité des digesta mais n'a aucun effet sur la digestibilité de la protéine de l'orge (Jensen et al., 1998).

La prise en compte d'un critère global tel que la concentration en NDF de l'aliment pour estimer l'effet des fibres sur la digestibilité des acides aminés ou l'excrétion azotée endogène semble exclue. Les données de Schulze et al. (1995b) ou de Leterme et al. (1996c) ***(Tableau 5, p 41 ; Figure 10, p 41)*** prouvent que ce critère, trop global, ne permet pas de différentier les effets variables dus à différents types de fibres, même lorsque la source de fibre est pratiquement dépourvue de pectines (Schulze et al., 1995b). En revanche, lorsqu'il s'agit de mesurer l'impact de l'introduction de taux croissants d'un type de fibre donné, ce critère semble approprié (Schulze et al., 1994a ; Mariscal-Landin et al., 1995).

L'usage de ce critère comporte un certain nombre d'avantages. D'une part, dans les matières premières d'origine végétale, la caractérisation du contenu azoté du résidu NDF, comme l'ont pratiquée Mariscal-Landin (1992) (issues de meunerie, co-produits d'amidonnerie de maïs) ou Lechevestrier (1996) (céréales, tourteaux d'oléagineux), est vraisemblablement un critère important dans l'évaluation de la digestibilité réelle des acides aminés. D'autre part, la décomposition du résidu NDF en ADF et ADL permet de bien distinguer les hémicelluloses des composés plus résistants à la dégradation microbienne (cellulose et surtout lignine). Cependant, ce critère ne permet de rendre compte que de la teneur en fibres insolubles d'une matière première ; les teneurs en hémicelluloses solubles et les pectines en sont exclus. Par ailleurs, sur certains types de matières premières, comme le pois (Leterme et al. (1996c), sa mise en œuvre est particulièrement difficile. Ce critère peut donc vraisemblablement être un critère de choix pour l'évaluation de l'effet des fibres sur la digestibilité des acides aminés, dans les matières premières pauvres en pectines (céréales et co-produits) en particulier.

B - LES INHIBITEURS DE PROTEASES

B.1 - Nature des inhibiteurs de protéases

Les inhibiteurs de protéases sont des protéines présentes dans les plantes. Ils en assurent la défense contre les microorganismes, les insectes et d'autres prédateurs. Des centaines d'inhibiteurs de protéases ont été caractérisés (Liener, 1989). Ils sont capables d'inhiber une ou deux enzymes. La plupart d'entre eux sont capables d'inhiber la trypsine, mais également, pour nombre d'entre eux, la chymotrypsine. Les inhibiteurs trypsiques sont présents dans les légumineuses, mais leur activité est plus élevée dans la graine de soja que dans les graines de pois ou de haricots. L'inhibiteur de Bowman-Birk est l'inhibiteur de protéases le plus abondant dans les graines de légumineuses alors que

l'inhibiteur de Kunitz se trouve principalement dans les graines de soja (Liener, 1989).

B.2 - Effets sur la digestibilité iléale des acides aminés

Chez le rat (Temler et al., 1984), la souris (Roy et Schneeman, 1981) et le poulet (Gertler et Nitsan, 1970), les sécrétions d'enzymes pancréatiques augmentent lorsque les animaux reçoivent des aliments contenant des inhibiteurs de protéases : en se liant à la trypsine et à la chymotrypsine, ces composés empêcheraient le rétrocontrôle négatif normal de la sécrétion pancréatique via la CKK (cholécystokinine) sécrétée par les cellules de la muqueuse duodénale (Huisman et Jansman, 1991). Chez le porc, en revanche, le mécanisme de régulation de la synthèse de la trypsine et de la chymotrypsine serait différent, et aucune hypersécrétion d'enzymes pancréatiques n'est observée après l'ingestion d'inhibiteurs de protéases (Yen et al., 1977 ; Le Guen et al., 1993 ; Schulze et al., 1994b ; Gabert et al., 1996 ; Li et al., 1997 ; Li et al., 1998a). En revanche, l'activité des enzymes protéolytiques dans les contenus intestinaux est diminuée. Selon Barth et al. (1993), Le Guen et al. (1993), Schulze et al. (1994b) et Li et al. (1998b), la diminution de la digestibilité iléale apparente (et vraie) de la protéine et des acides aminés, consécutive à l'addition d'inhibiteurs de protéases dans l'aliment, résulterait à la fois d'une diminution de la digestibilité réelle et d'une augmentation de l'excrétion d'azote endogène. La diminution de la digestibilité réelle serait due à une diminution de la quantité d'enzymes disponibles sous forme active (non complexée), alors que l'augmentation du flux d'azote endogène serait due à une diminution, en raison de la formation de complexes stables, du taux de réabsorption des enzymes sécrétées (Grala et al., 1998b). Cependant l'importance relative de ces deux mécanismes sur la digestibilité iléale apparente (ou vraie) est dépendante de l'activité antitrypsique mesurée dans l'aliment : selon Jansman et al. (1994) et Schulze et al. (1994b), tant que la quantité d'enzymes non complexées est en excédent par rapport à la quantité de protéines alimentaires, les inhibiteurs trypsiques sont sans effet sur la digestibilité réelle et la diminution de la digestibilité iléale apparente (ou vraie) est due à une augmentation de l'excrétion azotée endogène ; en revanche, à niveau élevé d'inhibiteurs trypsiques dans l'aliment, la quantité d'enzymes actives devient insuffisante pour assurer la digestion des protéines alimentaires et la digestibilité réelle diminue, alors que le flux d'azote endogène cesse d'augmenter. Ces phénomènes expliquent la part croissante prise par le flux azoté d'origine alimentaire par rapport au flux azoté d'origine endogène lorsque l'activité antitrypsique de l'aliment augmente ***(Figure 11, p 42).***

B.3 - Les traitements thermiques

Les traitements thermiques permettent de dénaturer les inhibiteurs trypsiques et d'améliorer la digestibilité des acides aminés des matières premières (van der Poel et al., 1991 (haricot) ; Marty et al., 1994 ; Marty et Chavez, 1995 ; Lechevestrier, 1996 (soja)).

Selon Chang et al. (1987) et Huisman et Jansman (1991), les traitements thermiques habituellement appliqués aux tourteaux de soja permettent de réduire l'activité antitrypsique à un niveau tel qu'elle est sans effet sur la digestibilité iléale des acides aminés. Toutefois, même si la détermination de l'activité antitrypsique demeure un dosage délicat et que les données de la littérature sont difficilement comparables entre elles (Huisman et Jansman, 1991), la base de données IO7 (AFZ, 1998) indique que l'activité

antitrypsique du tourteau de soja 48 va de 1.3 à 8.5 UTI/mg MS (Unité de Trypsine Inhibée). Lorsque 40% de tourteaux de soja sont introduits dans l'aliment expérimental, une telle activité antitrypsique peut influencer la digestibilité des acides aminés (Lechevestrier, 1996), au moins sur l'excrétion azotée endogène (Barth et al., 1993 ; Jansman et al., 1994 ; Schulze et al., 1994b). Grala et al. (1998a, 1999) ont montré qu'à la fois l'excrétion endogène d'azote augmente et la digestibilité réelle diminue lorsque l'activité antitrypsique d'aliments à base de tourteau de soja augmente (1 à 4 mg trypsine inhibée/g).

De façon générale, l'effet des traitements thermiques sur la digestibilité iléale des acides aminés est interprété comme un effet de la diminution de l'activité antitrypsique. Cependant, les traitements thermiques, caractérisés par la température, la durée du traitement, la finesse de mouture et l'humidité (Fan et al., 1995b) peuvent avoir des effets sur d'autres composants de la matière première. Ces effets peuvent conduire soit à une diminution de la digestibilité, soit à son amélioration. Un effet négatif apparaît lorsque la matière première subit un traitement excessif qui conduit à une destruction et à une diminution de la digestibilité de la lysine, mais également de l'arginine (Chang et al., 1987 ; Lechevestrier, 1996). La diminution de la digestibilité de la lysine est attribuée à la réaction entre son groupement ε-aminé et les sucres réducteurs (réaction de Maillard). Au contraire, les traitements thermiques peuvent améliorer la digestibilité par la rupture des cellules et la libération plus aisée de leur contenu (Lechevestrier, 1996).

Comme pour les fibres, il est donc difficile de transposer les résultats obtenus à partir de régimes semi-synthétiques, auxquels ont ajoutés des inhibiteurs trypsiques isolés à partir de soja, à des matières premières. La diminution quasi linéaire de la digestibilité des acides aminés lorsque des inhibiteurs trypsiques sont additionnés dans des régimes semi-synthétiques n'est pas observée lorsque les mêmes niveaux d'activité antitrypsique sont obtenus à partir de tourteaux de soja (Lechevestrier, 1996). Se pose alors le problème du critère analytique à prendre en compte pour prédire la digestibilité des acides aminés dans des matières premières telles que les tourteaux de soja.

C - AUTRES FACTEURS ANTINUTRITIONNELS

C.1 - Les lectines

Les lectines (ou hémagglutinines), présentes dans le haricot, la graine de soja, mais également le pois sont le plus souvent des glycoprotéines. Elles sont localisées dans les cotylédons et le tissu embryonnaire des graines (Huisman et Jansman, 1991). Les lectines sont capables de se lier aux récepteurs spécifiques situés à la surface des cellules de l'épithélium intestinal ; elles causent alors des ruptures dans la bordure en brosse et une atrophie des microvillosités (Huisman et Jansman, 1991). La diminution de la digestibilité des acides aminés due aux lectines serait principalement liée à l'augmentation de l'excrétion azotée endogène, en raison d'une augmentation de sécrétion de mucus et d'un renouvellement accéléré des cellules épithéliales (Huisman et al., 1992 ; Schulze et al., 1995c).

C.2 - Les tannins

Les tannins sont des composés phénoliques présents surtout dans le sorgho et les graines de colza ainsi que dans les téguments des graines de légumineuses (Huisman et Jansman, 1991). Ils ont la propriété de se lier, dans le tube

digestif, aux protéines alimentaires, formant des complexes résistants aux attaques enzymatiques. Ils peuvent également se lier au mucus et aux enzymes (Sauer et Ozimek, 1986). Selon Jansman et al. (1995), ces phénomènes entraîneraient à la fois une augmentation de l'excrétion endogène d'azote à la fin de l'iléon et une diminution de la digestibilité réelle des protéines. Selon Mariscal-Landin (1992) , la teneur en tannins du sorgho serait un bon indicateur de sa digestibilité iléale vraie. Cependant, cet auteur a utilisé des variétés de sorgho dont les teneurs en tannins, très élevées, sont sans commune mesure avec les variétés actuellement cultivées en France (Métayer et al., 1993).

D - CONCLUSION

Le mécanisme d'action des principaux facteurs antinutritionnels a souvent été étudié à partir de régimes semi-synthétiques. Cette méthode permet d'isoler le composant dont on souhaite étudier l'effet et a permis, au moins pour les fibres et pour les inhibiteurs de protéases, d'améliorer notre connaissance sur leurs modes d'action dans le tube digestif. Cependant, les résultats ne sont souvent pas directement transposables aux matières premières. En particulier, une matière première est un système complexe, dans lequel plusieurs composants peuvent avoir des effets, contraires ou identiques, sur la digestibilité iléale des acides aminés. Pour compléter le travail analytique qui a été entrepris, il est donc important de se doter de bases de données permettant d'évaluer l'impact des principaux facteurs antinutritionnels présents dans les matières premières sur la digestibilité iléale de leurs acides aminés.

Figure 9 : Flux endogène d'azote et de sucres aminés selon la teneur en NDF d'un aliment protéiprive
(d'après Mariscal-Landin, 1992 et Mariscal-Landin et al., 1995)

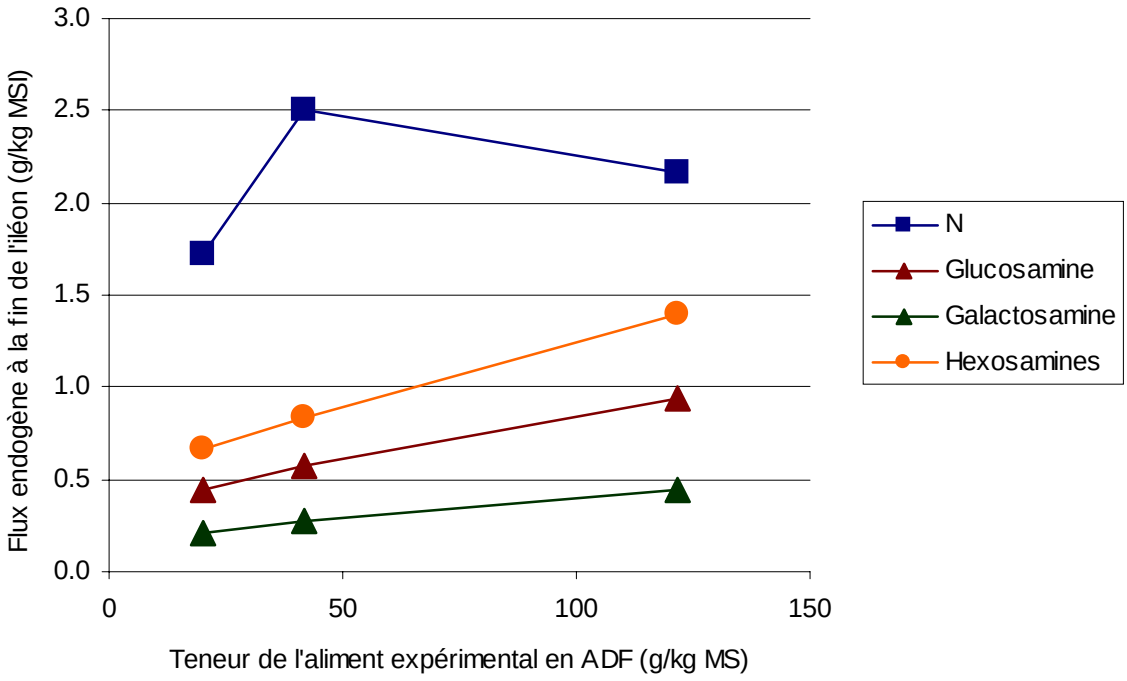


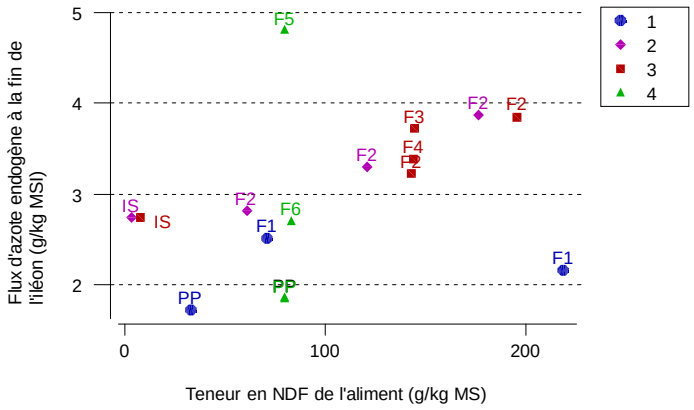
Tableau 5 : Effet de différents types de fibres sur le flux d'azote endogène à la fin de l'iléon

Référence	1			2				3					4				
Technique	AIR-TT			PVTC				PVTC					PVTC				
Poids des porcs (kg)	50			22-28				13-18					>30				
Composition de l'aliment (%) [1]																	
Amidon de maïs	83.6	80.6	68.6	49.4	49.4	49.4	49.4	47.7	47.7	47.7	32.7	47.7	61.5	29.5	27.0	27.0	29.5
Amidon de pois	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31.5	19.0	19.0	32.0
Isolat de soja	-	-	-	22.0	22.0	22.0	22.0	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	-	-	-	-	-
Caséine hydrolysée	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.5	-
Sucre	5.0	5.0	5.0	20.0	14.0	8.0	2.0	25.0	5.0	9.5	10.0	5.2	26.0	26.5	17.5	-	22.0
Huile	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	-	-	-	-	-
Cellulose de bois	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.0	8.0	-	-	-
F1	3.0	6.0	18.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F2	-	-	-	-	6.0	12.0	18.0	-	20.0	15.5	-	-	-	-	-	-	-
F3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.0	-	-	-	-	-	-
F4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.8	-	-	-	-	-
F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32.0	32.0	
F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.0
Caractéristiques analytiques de l'aliment (g/kg MS)																	
CB	20.3	42.0	121.9	5.7	24.1	34.0	50.4	-	-	-	-	-	62.0	62.0	35.0	35.0	61.0
NDF	33.1	70.9	218.9	3.3	60.9	120.8	176.5	7.7	195.5	142.8	144.7	144.2	80.0	80.0	80.0	80.0	83.0
Flux d'azote endogène (g/kg MSI)																	
	1.72	2.51	2.16	2.74[2]	2.82	3.30	3.87	2.74	3.85	3.22	3.72	3.38	1.86	1.84	4.80	7.09	2.70

Références : 1 - Mariscal-Landin et al. (1995) ; 2 - Schulze et al. (1994a) ; 3 - Schulze et al. (1995b) ; 4 - Leterme et al. (1996c)
F1 : 1/2 cellulose de bois, 1/3 rafle maïs, 1/6 paille blé (27% hémicellulose, 63% cellulose, 10% lignine) - **F2** : NDF purifié à partir de son de blé (NDF = 910.9 g/kg MS dont 63% hémicellulose, 27% cellulose, 10% lignine) - **F3** : son de blé (NDF = 490.0 g/kg MS dont 69% hémicellulose, 25% cellulose, 6% lignine) - **F4** : coques de tournesol (NDF = 720.1 g/kg MS dont 27% hémicellulose, 53% cellulose, 20% lignine) - **F5** : Fibres internes de pois (NDF = 250 g/kg MS dont 39% hémicellulose, 61% lignocellulose) - **F6** : coques de pois (NDF = 695 g/kg MS dont 10% hémicellulose et 90% lignocellulose)
[1] le complément à 100 est un AMV - [2] estimé d'après Schulze et al. (1995b)
AIR-TT : anastomose iléo-rectale termino-terminale – **PVTC** : Post-Valv T-Caecum canula

Figure 10 : Flux endogène d'azote selon la teneur en NDF de l'aliment

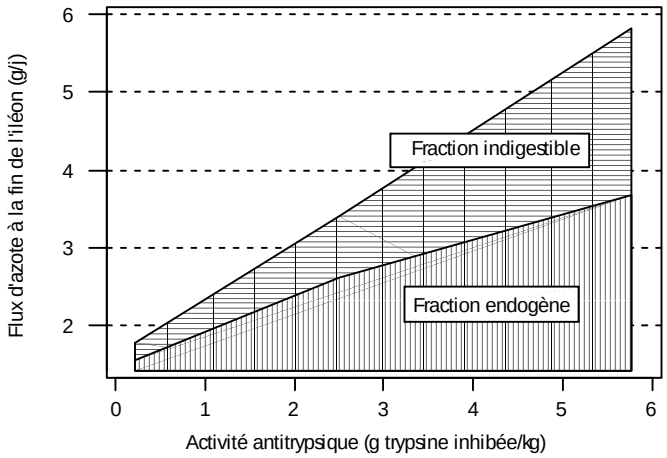
(voir Tableau 5)



Références : 1 - Mariscal-Landin et al. (1995) ; 2 - Schulze et al. (1994a) ; 3 - Schulze et al. (1995b) ; 4 - Leterme et al. (1996c)
F1 : 1/2 cellulose de bois, 1/3 rafle maïs, 1/6 paille blé (27% hémicellulose, 63% cellulose, 10% lignine) - **F2** : NDF purifié à partir de son de blé (NDF = 910.9 g/kg MS dont 63% hémicellulose, 27% cellulose, 10% lignine) - **F3** : son de blé (NDF = 490.0 g/kg MS dont 69% hémicellulose, 25% cellulose, 6% lignine) - **F4** : coques de tournesol (NDF = 720.1 g/kg MS dont 27% hémicellulose, 53% cellulose, 20% lignine) - **F5** : Fibres internes de pois (NDF = 250 g/kg MS dont 39% hémicelluloses, 61% lignocellulose) - **F6** : coques de pois (NDF = 695 g/kg MS dont 10% hémicellulose et 90% lignocellulose) - **IS** : aliment de base contenant de l'isolat de soja - **PP** : aliment de base protéiprive

Figure 11 : Effet de l'introduction de quantités croissantes d'inhibiteurs trypsiques de soja dans un aliment à base de concentrat de soja et d'amidon de maïs[1] sur le flux d'azote à la fin de l'iléon de porcs de 12 kg

(d'après Schulze et al., 1994b)



[1] composition de l'aliment de base : Isolat de soja (24.0%), Amidon de maïs (45.8%), Huile de soja (2.5%), Sucre (15%), minéraux et vitamines (6.65%)

IV - Conclusion et introduction à la partie expérimentale

Les techniques de mesure de digestibilité iléale des acides aminés sont maintenant utilisables en routine. En particulier, en dépit des critiques dont elle fait l'objet, l'anastomose iléo-rectale termino terminale même, sans préservation de la valvule iléo cæcale, semble être une technique de choix pour le travail en routine.

Bien que la digestibilité iléale apparente soit encore un mode d'expression couramment utilisé dans la littérature, sa dépendance vis-à-vis des conditions expérimentales la rend inutilisable, au moins lorsqu'il s'agit de faire des comparaisons et de hiérarchiser les matières premières. L'usage d'un aliment protéiprive semble être une technique valable pour la mesure de l'excrétion azotée endogène basale et le calcul de la digestibilité iléale vraie. Cependant, la variabilité animale et l'effet du poids des animaux sur l'excrétion azotée endogène basale méritent que, dans un laboratoire qui entreprend un screening de matières premières sur une large échelle de temps, ces possibles effets soient mesurés et leur impact sur la digestibilité vraie évalué. C'est l'objet de notre première étude.

L'étude de l'effet de différents facteurs antinutritionnels sur la digestibilité iléale des acides aminés, ou encore l'excrétion azotée endogène a fait l'objet de nombreuses publications. En particulier, l'usage de régimes synthétiques a permis de caractériser les principaux facteurs alimentaires susceptibles de faire varier la digestibilité des acides aminés chez le porc. Cependant, l'absence de bases de données suffisamment conséquentes rend souvent impossible l'évaluation de l'impact de ces facteurs antinutritionnels dans les matières premières et la fourniture des éléments de prédiction de la digestibilité iléale des acides aminés en fonction de critères analytiques utilisables par le formulateur. Le principal objet de notre étude est de fournir, sinon des équations de prédiction, au moins des éléments sur la variabilité de la digestibilité iléale vraie des acides aminés dans diverses matières premières. Nous avons choisi de travailler sur des céréales, des co-produits de meunerie, des co-produits d'amidonnerie de maïs et des tourteaux d'oléagineux. Par ailleurs, nous avons choisi de procéder à une caractérisation analytique assez complète des matières premières de façon à cerner au mieux les facteurs de variation possibles de la digestibilité. Cette caractérisation s'est toutefois limitée à des critères utilisables par les formulateurs de façon à favoriser une utilisation directe des résultats de cette étude dans la pratique. En particulier, nous n'avons pas cherché à comparer diverses méthodes analytiques pour décrire l'effet de tel ou tel facteur antinutritionnel mais plutôt d'évaluer dans quelle mesure des critères analytiques couramment utilisés permettent de prédire la digestibilité iléale vraie des acides aminés.

Par ailleurs, l'évidence d'un coût métabolique différent pour l'excrétion azotée endogène et la rétention azotée a conduit de nombreuses équipes à s'intéresser à l'excrétion azotée endogène liée à l'ingestion de divers types de matières premières et à la digestibilité réelle de leurs acides aminés. Bien que notre base de données n'ait, au départ, été constituée que pour mesurer la digestibilité iléale, nous avons cherché, sans mettre en œuvre de manipulations supplémentaires, mais simplement par le calcul, à évaluer l'impact de différents critères analytiques sur ces deux composantes de la valeur nutritionnelle des matières premières.

V - Références bibliographiques

AFZ., 1998. IO7, Banque de Données de l'Alimentation Animale. Version 4.0, November 1998, Association Française de Zootechnie, Paris, France.

Bach Knudsen K.E., 1997. Carbohydrates and lignin content of plant materials used in animal feeding. Anim. Feed Sci. Technol., 67, 319-338.

Bach Knudsen K.E., Hansen I., 1991. Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions. 1. Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major constituents. Br. J. Nutr., 65, 217-232.

Bach Knudsen K.E., Johansen H.N., 1995. Plant carbohydrates : enzymatic hydrolysis and microbial fermentation in the gastrointestinal tract of pigs. In : Proc. 46th EAAP Annual Meeting, van Arendonk eds, September 4-7, Prague Czech Republic, 17 pp.

Bach Knudsen K.E., Canibe N., 1997. Digestion of carbohydrates in the small and large intestine of pigs fed on wheat or oat based rolls. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, 562-566.

Bach Knudsen K.E., Jensen B.B., Andersen J.O., Hansen I., 1991. Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions. 2. Microbial activity in the gastrointestinal tract. Br. J. Nutr., 65, 233-248.

Baidoo S.K., Liu Y.G., Yungblut D., 1998. Effect of microbial enzyme supplementation on energy, amino acid digestibility and performance of pigs fed hulless barley based diets. Can. J. Anim. Sci., 78, 625-631

Bartelt J., Drochner W., Sommer A., 1997. Recovery of different nitrogen fractions at the distal ileum in ^{15}N-labelled pigs fed grain diets with or without fish meal and graded levels of fibre. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, pp 617-620.

Barth C.A., Lunding B., Schmitz M., Hagemeister H., 1993. Soybean trypsin inhibitor(s) reduce absorption of exogenous and increase loss of endogenous protein in miniature pigs. J. Nutr., 123, 2195-2200.

Bastianelli D., 1996. Quantification des sécrétions endogènes : modélisation empirique du flux d'azote endogène à l'iléon à partir des résultats de la bibliographie. In : Modélisation de la digestion chez le porc en croissance. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique de Paris-Grignon, pp 83-129.

Batterham E.S., Andersen L.M., Baigent D.R., Beech S.A., Elliott R., 1990. Utilization of ileal digestible amino acids by pigs : lysine. Br. J. Nutr., 64, 679-690.

Batterham E.S., Andersen L.M., Baigent D.R., 1993. Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs : methionine. Br. J. Nutr., 70, 711-720.

Batterham E.S., Andersen L.M., 1994. Utilization of ileal digestible amino acids by pigs : isoleucine. Br. J. Nutr., 71, 531-541.

Beech S.A., Batterham E.S., Elliott R., 1991. Utilization of ileal digestible amino acids by pigs : threonine. Br. J. Nutr., 65, 381-390.

Bergner H., Lück M., Müller J., 1981. Untersuchung zur Sorption von Aminosaüren an Diätkomponenten. Arch. Tierernähr., Berlin, 31, 265-271.

Bergner H., Simon O., Zebrowska T., Münchmeyer R., 1986. Studies on the secretion of amino acids and of urea into the gastrointestinal tract of pigs. 3. Secretion of urea determined by continuous intravenous infusion of ^{15}N-urea. Arch. Anim. Nutr., 36, 479-490.

Bjergegaard C., Eggum O., Jensen S.K., Sorensen H., 1991. Dietary fibres in oilseed rape: physiological and antinutritional effects in rats of isolated IDF and SDF added to a standard diet. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr., 66, 69-79.

Blomberg L., Henriksson A., Conway P.L., 1993. Inhibition of adhesion of Escherichia coli K88 to piglet ileal mucus by Lactobacillus spp. App. Env. Microbiol., 59, 34-39.

Bodin J.C., McMillan E., Maillard R., van Kempen T., Williams P.E.V., 1998. Effect of time post-surgery on the measurement of ileal digestibility in ileal rectal anastomosed pigs. In : Proc. Ann. Meet. Br. Soc. Anim. Sci., Br. Soc. Anim. Sci. Publ., March, Scarborough, UK, 162.

Boisen S., Moughan P. J., 1996. Dietary influences on endogenous ileal protein and amino acid loss in the pig : A review. Acta Agric. Scand. A, Animal Sci., 46, 154-164.

Buraczewska L., 1979. Secretion of nitrogenous compounds in the small intestine of pigs. Acta Physiol. Pol., 30, 319-326.

Buraczewski S., 1986. Endogenous NPN-compounds in the intestinal tract of monogastric animals. Arch. Anim. Nutr., 36, 274-281.

Butts C. A., Moughan P. J., Smith W. C., Carr D. H., 1993a. Endogenous lysine and other amino acid flows at the terminal ileum of the growing pig (20 kg bodyweight): the effect of protein-free, synthetic amino acid, peptide and protein alimentation. J. Sci. Food Agric., 61, 31-40.

Butts C. A., Moughan P. J., Reynolds G.W., Garrick D.J., 1993b. The effect of food dry matter intake on endogenous ileal amino acid excretion determined under peptide alimentation in the 50kg liveweight pig. J. Sci. Food Agric., 62, 235-243.

Caine W.R., Verstegen M.W.A., Tamminga S., Sauer W.C., Schulze H., 1997a. Bacterial contributions of N and indispensable amino acids to ileal digesta of newly-weaned piglets fed diets with protease-treated soybeanmeal. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, 454-457.

Caine W.R., Tamminga S., Verstegen M.W.A., Sauer W.C., Schulze H., 1997b. Endogenous recoveries and true ileal digestibilities of amino acids in newly weaned pigs fed diets with protease-treated soybean meal. J. Anim. Sci., 75, 2970-2979.

Caine W.R., Sauer W.C., Verstegen M.W.A., Tamminga S., Li S., Schulze H., 1998. Guanidinated protein test meals with higher concentration of soybean trypsin inhibitors increase ileal recoveries of endogenous amino acids in pigs. J. Nutr., 128, 598-605.

Chang C.J., Tanksley T.D. Jr, Knabe D.A., Zebrowska T., 1987. Effect of different heat treatments during processing on nutrient digestibility of soybean meal in growing swine. J. Anim. Sci., 65, 1273-1282.

Clemens E.T., Stevens C.E., Southworth M., 1975. Sites of organic acid production and pattern of digesta movement in the gastrointestinal tract of swine. J. Nutr., 105, 759-768.

Corring T., Jung J., 1972. The amino acid composition of pig pancreatic juice. Nutr. Rep. Intern., 6, 187-190.

Cunningham H.M., Friend D.W., Nicholson J.W.G., 1962. Note on a re-entrant intestinal fistula for digestion studies in pigs. Can. J. Anim. Sci., 42, 112-113.

CVB, 1992. Central Veevoederbureau. Veevoedertabel. Lelystad, The Netherlands.

CVB, 1998. Central Veevoederbureau. Veevoedertabel. Lelystad, The Netherlands.

Darcy B., Laplace J.P., Villiers P.A., 1980. Digestion dans l'intestin grêle chez le porc. 2. Cinétique comparée de passage des digesta selon le mode de fistulation, iléo-caecale ou iléo-caecale post-valvulaire, dans diverses conditions d'alimentation. Ann. Zootech., 29, 147-177.

Darcy B., Laplace J.P., Villiers P.A., 1981. Digestion dans l'intestin grêle chez le porc. 4. Cinétique de passage des digesta au niveau de la jonction iléo-caeco-colique et bilans de la digestion selon la nature de l'amidon et la source de protéines alimentaires. Ann. Zootech., 30, 31-62.

De Lange C.F.M., Sauer W.C., Souffrant W., 1989a. The effect of feeding different protein-free diets on the recovery and amino acid composition of endogenous protein collected from the distal ileum and faeces in pigs. J. Anim. Sci., 67, 746-754.

De Lange C.F.M., Sauer W.C., Mosenthin R., Souffrant W.,1989b. The effect of protein status of the pig on the recovery and amino acid composition of endogenous protein in

digesta collected from the distal ileum. J. Anim. Sci., 67, 755-762.

De Lange C.F.M., Souffrant W.B., Sauer W.C., 1990. Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determined with the ^{15}N-isotope dilution technique. J. Anim. Sci., 68, 409-418.

den Hartog L.A., Huisman J., Thielen W.J.G., van Schayk G.H.A., Boer H., van Weerden E., 1988. The effect of including various structural polysaccharides in pig diets on ileal and fecal digestibility of amino acids and minerals. Livest. Prod. Sci., 18, 157-170.

Dierick N. A., Decuypere J. A., Vervaeke I. J., Henderickx H. K., 1983. Digestion iléale et fécale de la matière sèche, des protéines et des acides aminés de quelques rations conventionnelles pour les porcs à l'engrais. Rev. Agric. , 36, 1713-1726.

Dierick N. A., Vervaeke I. J., Decuypere J. A., Henderickx H. K., 1986. Influence of the gut flora and of some growth-promoting feed additives on nitrogen metabolism in pigs. I. Studies in vitro. Livest. Prod. Sci., 14, 161-176.

Dierick N., Decuypere J., 1997. Microbial degradation of enzymic released non-starch polysaccharide constituents in the small intestine of the pig. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, pp 421-425.

Donkoh A., Moughan P.J., 1999. Endogenous ileal nitrogen and amino acid flows in the growing pig receiving a protein-free diet and diets containing enzymically hydrolised casein or graded levels of meat and bone meal. Anim. Sci., 68, 511-518.

Drescher K., Hagemeister H., de Vrese M., Roos N., Middendorf K., Rantamäki P., 1994. Guanidination (homoarginine-labelling) of proteins does affect precaecal ^{15}N recovery in pigs. In : Proc. 6th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. W. B. Souffrant and H. Hagemeister Eds. Volume II. 4-6 October. Bad Doberan. pp 64-66.

Drochner W., 1984. Einfluss wechselnder Rohfaser- und Pektingehalte im Futter auf einige praecaecale und postileale Verdauungsvorgänge beim wachsenchen Schwein. Forschritte Tierphysiol. Tierernähr., 14, 120-125.

Dugan M. E. R., Sauer W. C., Dugan Jr J. M., Caine W. R., 1994. Determination of bacterial amino acid contribution to ileal digesta from pigs using ^{35}S and DAPA marker techniques. J. Anim. Feed Sci., 3, 149-159.

Duvaux C., Guilloteau P., Toullec R., Sissons J. W., 1990. A new method of estimating the proportions of different proteins in a mixture using amino acid profiles : application to undigested proteins in the preruminant calf. Ann. Zootech., 39, 9-18.

Easter R.A., Tanksley T.D., 1973. A technique for reentrant ileo-caecal cannulation of swine. J. Anim. Sci., 36, 1099-1103.

Evers A.D., Blakeney A.B., O'Brien L., 1999. Cereal structure and composition. Aust. J. Agric. Res., 50, 629-650.

Fan M.Z., Sauer W.C., Hardin R.T., Lien K.A., 1994. Determination of apparent ileal digestibility in pigs: effect of dietary amino acid level. J. Anim. Sci., 72, 2851-2859.

Fan M. Z., Sauer W. C., McBurney M. I., 1995a. Estimation by regression analysis of endogenous amino acid levels in digesta collected from the distal ileum of pigs. J. Anim. Sci., 73, 2319-2328.

Fan M. Z., Sauer W. C., De Lange C.F.M., 1995b. Amino acid digestibility in soybean meal, extruded soybean and full-fat canola for early-weaned pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 52, 189-203.

Fuller M.F., Livingstone R.M., 1982. In : Annual Report of Studies in Animal Nutrition and applied Sciences, 39, Rowett Research Institute, Aberdeen, UK, p 45.

Fuller M.F., 1991. Methodologies for the measurement of digestion. In : Digestive Physiology in Pigs. Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. Verstegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., eds.EAAP publication n°54, Pudoc, April 24-26, 1991, Wageningen, The Netherlands, 273-288.

Fuller M.F., Darcy-Vrillon B., Laplace J.P., Picard M., Cadenhead A., Jung J., Brown D., Franklin M.F., 1994. The measurement of dietary amino acid digestibility in pigs, rats and chickens : a comparison of methodologies. Anim. Feed Sci. Technol., 48, 305-324.

Fuller M.F., Reeds J., 1998. Nitrogen cycling in the gut. Annu. Rev. Nutr., 18, 385-411.

Furuya S., Kaji Y., 1989. Estimation of the true ileal digestibility of amino acids and nitrogen from their apparent values for growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 26, 271-285.

Furuya S., Kaji Y., 1991. Additivity of the apparent and true ileal digestible amino acid supply in barley, maize, wheat or soya-bean meal based diets for growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 32, 321-331.

Furuya S., Kaji Y., 1992. The effect of feed intake and purified cellulose on the endogenous ileal amino acid flow in growing pigs. Br. J. Nutr., 68, 463-472.

Gabert V.M., Sauer W.C., Li S., Fan M.Z., Rademacher M., 1996. Exocrine pancreatic secretions in young pigs fed diets containing faba beans (Vicia faba) and peas (Pisum sativum) : nitrogen, protein and enzymes secretions. J. Sci. Food Agric., 70., 247-255.

Gatel F., Jondreville C., Van Cauwenberghe S., Williatte I., Beaux M.F., 1997. Characterization of wheat, barley and pea digestion by the weaned piglet. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, 377-381.

Gdala J., Johansen H.L., Bach Knudsen K.E., Knap I.H., Wagner P., Jorgensen O.B., 1997. The digestibility of carbohydrates, protein and fat in the small and large intestine of piglets fed non-supplemented and enzyme supplemented diets. Anim. Feed Sci. Technol., 65, 15-33.

Gertler A., Nitsan Z., 1970. The effect of trypsin inhibitors on pancreatopeptidase E, trypsin and chymotrypsin and amylase in the pancreas and intestinal tract of chicks receiving raw and heat treated soya-bean diets. Br. J. Nutr., 24, 893-904.

Graham H., Hesselman K., Jonsson E., Aman P., 1986a. Influence of β-glucanase supplementation on digestion of a barley-based diet in the pig gastrointestinal tract. Nutr. Rep. Intern., 34, 1089-1096.

Graham H., Hesselman K., Aman P., 1986b. The influence of wheat bran and sugar-beet pulp on the digestibility of dietary components in a cereal-based pig diet. J. Nutr., 116, 242-251.

Grala W., 1998. Nitrogen utilization in pigs as affected by dietary induced losses of ileal endogenous nitrogen. PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Animal Nutrition Department, 179 pp.

Grala W., Verstegen M.W.A., van Leeuwen P., Huisman J., Jansman A.J.M., Tamminga S., 1997. Nitrogen balance of pigs as affected by feedstuffs causing different endogenous nitrogen flow at the terminal ileum. Livest. Prod. Sci., 48, 143-155.

Grala W., Verstegen M.W.A., Jansman A.J.M., Huisman J., van Leeuwen P., 1998a. Ileal apparent protein and amino acid digestibilities and endogenous nitrogen losses in pigs fed soybean and rapeseed products. J. Anim. Sci., 76, 557-568.

Grala W., Buraczewska L., Wasilewko J., Vertegen M.W.A., Jansman A.J.M., Korczynski W., 1998b. Flow of endogenous and exogenous nitrogen in different segments of the small intestine in pigs fed diets with soybean concentrate, soybean meal ot rapeseed cake. In: Nitrogen utilization in pigs as affected by dietary induced losses of ileal endogenous nitrogen, PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Animal Nutrition Department, The Netherlands, pp 123-144.

Grala W., Verstegen M.W.A., Jansman A.J.M., Huisman J., Wasiliewko J., 1998c. Nitrogen utilisation in pigs fed diets with soybean and rapeseed products leading to different ileal endogenous N losses. J. Anim. Sci., 76, 569-577.

Grala W., Verstegen M.W.A., Jansman A.J.M., Huisman J., van Leeuwen P., 1999. Apparent protein digestibility and recovery of endogenous nitrogen at the terminal ileum of

pigs fed diets containing various soybean products, pea or rapeseed hulls. Anim. Feed Sci. Technol., 80, 231-245.

Green S., Bertrand S.L., Duron M.J.C., Maillard R.A., 1987. Digestibility of amino acids in maize, wheat and barley meal, measured in pigs with ileo-rectal anastomosis and isolation of the large intestine. J. Sci. Food Agric., 41, 29-43.

Green S., 1988. A note on amino acid digestibility measured in pigs with pre-or post-valve ileo-rectal anastomoses, fed soya-bean, pea and meat meals. Anim. Prod., 47, 317-320.

Grosjean F., Saulnier L., Maupetit P., Beaux M.F., Flatres M.C., Magnin M., Le Pavec P., Victoire C., 1999a. Variability of wheat and other cereal water extract viscosity : 1. Improvements in measuring viscosity. J. Sci. Food Agric., 79, 116-122.

Hagemeister H., Ebersdobler H., 1985. Chemical labelling of dietary protein by transformation of lysine to homoarginine: a new technique to follow intestinal digestion and absorption. Proc. Nutr. Soc., 44, 133 A.

Hedde R. D., Ermilio K. J., Parish R. C., 1981a. Fermentation in the small intestine and cecum of growing finishing pigs. J. Anim. Sci., 53, Suppl. 1, 247.

Hedde R. D., Free S. M., Lindsey T. O., Miller C. R., Kennedy L., 1981b. Virginiamycin effect on intestinal lactate production and rate of passage in growing-finishing swine. J. Anim. Sci., 53, Suppl. 1, 248.

Henning U., Wünsche J., Souffrant W.B., Peters G., Kreienbring F., 1993. Untersuchungen zur präzäkalen Verdaulichkeit von Mais, Sonnenblumen- Baumwoll-, Lein- und Sojaextraktionsschrot bei Schweinen mit Ileorektal-anastomosen. Arch. Anim. Nutr., 43, 215-226.

Henriksson A., André L., Conway P.L., 1995. Distribution of lactobacilli in the porcine gastrointestinal tract. FEMS microbiology ecology, 16, 55-60.

Henriksson A., Conway P.L., 1996. Adhesion of Lactobacillus fermentum 104-S to porcine stomach mucus. Current Microbiology, 33, 31-34.

Hess V., 1999. Consequences of the endogenous ileal losses and real digestibility on the availability of amino acids in growing pigs. In : Disponibilité vraie des acides aminés et impact des pertes azotées endogènes spécifiques selon la source de protéines alimentaires chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, pp 92-107.

Hess V., Sève B., 1999a. Effects of body weight and feed intake level ob basal endogenous losses in growing pigs. J. Anim. Sci., 77, 3281-3288.

Hess V., Sève B., 1999b. Investigation of the real digestibility and ileal endogenous losses of amino acids of wheat and wheat-meal by-products in growing pigs. In : Disponibilité vraie des acides aminés et impact des pertes azotées endogènes spécifiques selon la source de protéines alimentaires chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, pp 107-122.

Hess V., Thibault J.N., Sève B., 1998. The ^{15}N amino acid dilution method allows the determination of the real digestibility and the ileal endogenous losses of the respective amino acid in pigs. J. Nutr., 128, 1969-1977.

Hess V., Ganier P., Thibault J.N., Sève B., 1999. Comparison of the isotope dilution method for determination of the ileal endogenous amino acid losses with labelled diet and labelled pigs. In : Disponibilité vraie des acides aminés et impact des pertes azotées endogènes spécifiques selon la source de protéines alimentaires chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, pp 77-92.

Hodgkinson S.M., Moughan P.J., Reynolds G.M., 1997. Effect of live weight on endogenous ileal nitrogen and amino acid excretion in the growing pig. In: Manipulating Pig Production VI. Proc. 6th Biennal Conf. Australasian Pig Sci. Assoc., Canwell P.D,. eds, December 7-10, Canberra, ACT, 235-236.

Huisman J., Jansman A.J.M., 1991. Dietary effects and some analytical aspects of antinutritional factors in peas (Pisum sativum), common beans (Phaseolus vulgaris) and soybeans (Glycine max L.) in monogastric farm animals.

A literature review. Nutrition Abstracts and Reviews, series B, 61, 901-921.

Huisman J., Heinz Th., van der Poel A.F.B., van Leeuwen P., Souffrant W.B., Verstegen M.W.A., 1992. True protein digestibility and amounts of endogenous protein measured with the ^{15}N-dilution technique in piglets fed on peas (*Pisum sativum*) and common beans (*Phaseolus vulgaris*). Br. J. Nutr., 68, 101-110.

Huisman J., Verstegen M.W.A., van Leeuwen P., Tamminga S., 1993. Reduction of N pollution by decrease of the excretion of endogenous N in pigs. In : Nitrogen flow in pig production and environmental consequences. Proc. 1st Intern Symp., Verstegen M.W.A., den Hartog L.A., van Kempen G.J.M., Metz J.H.M.Eds, PUDOC, 8-11June 1993, Wageningen (Doorwerth), The Netherlands, 55-61.

Imbeah M., Sauer W.C., Mosenthin R., 1988. The prediction of the digestible amino acid supply in barley-soyabean meal or canola meal diets and pancreatic enzyme secretion in pigs. J. Anim. Sci., 66, 1409-1417.

Imbeah M., Sauer W.C., Caine W.R., 1995. Comparison of the single dose and withdrawal method for measuring the rate of passage of two digestibility markers in digesta collected from the distal ileum and feces in growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 52, 41-50.

Imbeah M., Angkanaporn K., Ravindran V., Bryden W.L., 1996. Investigations on the guanidination of lysine in proteins. J. Sci. Food Agric., 72, 213-218.

Jansman A.J.M., Schulze H., van Leeuwen P., Vertegen M.W.A., 1994. Effects of protease inhibitors and lectins from soya on the true digestibility and endogenous excretion of crude protein in piglets. In : Proc. 6th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. W.B. Souffrant and H. Hagemeister Eds. Volume II. 4-6 October. Bad Doberan, pp 114-117.

Jansman A.J.M., Verstegen M.W.A., Huisman J., van den Berg J.W.O., 1995. Effects of hulls of faba beans (Vicia Faba L.) with a low or high content of condensed tannins on the apparent ileal and fecal digestibility of nutrients and the excretion of endogenous protein in ileal digesta and feces of pigs. J. Anim. Sci., 73, 118-127.

Jensen B. J., 1988. Effect of diet composition and virginiamycin on microbial activity in the digestive tract of pigs. In : Proc. 4th Intern. Sem. on Digestive Physiology in the Pig. Jablonna. Poland, 392-400.

Jensen B.B., Jorgensen H., 1994. Effect of dietary fiber on microbial activity and microbial gas production in various regions of the gastrointestinal tract of pigs. App. Env. Micr., 60, 1897-1904.

Jensen M.S., Bach Knudsen K.E., Inborr J., Jakobsen K., 1998. Effect of β-glucanase supplementation on pancreatic enzyme activity and nutrient digestibility in piglets fed diets based on hulled and hulless barley varieties. Anim. Feed Sci. Technol., 72, 329-345.

Jorgensen H., Fernandez J.A., Just A., 1985. Comparative digestibility experiments with normal and cannulated pigs. In : Proc. 3th Intern. Seminar on the Digestive Physiology of the Pig. Just A., Jorgensen H., Fernandez J.A., Eds.. Report from the National Institute of Animal Science n°580. 16-18 May, Copenhagen, Denmark, pp 348-351.

Juste C., 1982. Apports endogènes par les sécrétions digestives chez le porc. In : 2nd Intern. Sem. on Digestive physiology in the pig. Les Colloques de l'INRA n°12. Laplace J.P., Corring T., Rérat A., Eds.. 27-29 October, Jouy en Josas-Versailles, France, pp 155-173.

Knabe D.A., Larue D.C., Gregg E.J., Martinez G.M., Tanksley T.D. Jr, 1989. Apparent digestibility of nitrogen and amino acids in protein feedstuffs by growing pigs. J. Anim. Sci., 67, 441-458.

Köhler T., Huisman J., den Hartog L.A., Mosenthin R., 1990. Comparaison of different digesta collection methods to determine the apparent digestibilities of the nutrients at the terminal ileum in pigs. J. Sci. Food Agric., 53, 465-475.

Köhler T., Mosenthin R., Vertegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., Ahrens F., 1992a. Effect of ileo-rectal anastomosis and post Valve T-caecum cannulation on growing pigs. 1.

Growth performance, N-balance and intestinal adaptation. Br. J. Nutr., 68, 293-303.

Köhler T., Mosenthin R., Vertegen M.W.A., Wensing T., den Hartog L.A., Huisman J., 1992b. Effect of ileo-rectal anastomosis and post Valve T-caecum cannulation on growing pigs. 2. Blood variables and mineral balances. Br. J. Nutr., 68, 305-315.

Krawielitzki K., Zebrowska T., Schadereit R., Kowalczyk J., Wünsche J., Hermann U., 1990. Determining of nitrogen absorption and nitrogen secretion in different sections of the pig's intestine by digesta exchange between ^{15}N-labelled and unlabelled animals. Arch. Anim. Nutr.,40, 25-37.

Krawielitzki K., Zebrowska T., Kreienbring F., Schadereit R., Kowalczyk J., 1996. Absorption and secretion of exogenous and endogenous N along the digestive tract and kinetic parameters of protein metabolism in growing pigs. 1. Estimation by digesta exchange between ^{15}N-labelled and unlabelled pigs. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr., 76, 46-56.

Kwella M., Hennig U., 1997. Long-term investigation on the microflora in the ileal chyme of ileorectostomized minipigs. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, 535-539.

Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Picard M., 1985. Evaluation de la disponibilité des acides aminés: choix raisonné d'une méthode. Journées Rech. Porcine en France, 17, 353-370.

Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Perez J.P., Henry Y., Giger S., Sauvant D., 1989. Associative effect of feeding different protein-free diets between two fibre sources on ileal and overall digestibilities of amino acids, energy and cell-wall components in growing pigs. Br. J. Nutr., 61, 75-87.

Laplace J.P., Souffrant W.B., Hennig U., Chabeauti E., Février C., 1994. Measurement of precaecal dietary protein and plant cell wall digestion in pigs : comparison of four surgical procedures for ileorectal anastomosis. Livest. Prod. Sci., 40, 313-328.

Larsen F.M., Moughan P.J., Wilson M.N., 1993. Dietary fibre viscosity and endogenous protein excretion at the terminal ileum of growing rats. J. Nutr., 123, 1898-1904.

Lechevestrier Y., 1996. Digestion et absorption des acides aminés dans l'intestin grêle du porc. Effets de la composition des protéines alimentaires, de leurs propriétés physiques et des facteurs antinutritionnels. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon, France, 161 pp.

Le Guen M.P., Huisman J., van Leeuwen P., Vertegen M.W.A., 1993. Effect of pea antinutritional factors on pancreatic protease activity in the intestinal content of the piglet diet. In : Pea proteins for piglets : effects on digestive processes. PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Animal Nutrition Department, The Netherlands, pp 91-103.

Le Guen M.P., Huisman J., Verstegen M.W.A., .1995. Partition of the amino acids in ileal digesta from piglets fed pea protein diets. Livest. Prod. Sci., 44, 169-178.

Leterme P., Thewis A., Beckers Y., Baudart E., 1990. Apparent and true ileal digestibility of amino acids and nitrogen balance measured in pigs with ileo-rectal anastomosis or T-cannulas, given a diet containing peas. J. Sci. Food Agric., 52, 485-497.

Leterme P. Pirard L., Thewis A., 1992. A note on the effect on wood cellulose level in protein-free diets on the recovery and amino acid composition of endogenous protein from the ileum in pigs. Anim. Prod., 54, 163-165.

Leterme P., Monmart T., Thewis A., Morandi P., 1996a. Effect of oral and parenteral N nutrition vs N-free nutrition on the endogenous amino acid flow at the ileum of the pig. J. Sci. Food Agric., 71, 265-271.

Leterme P., Thewis A., François E., van Leeuwen P., Wathelet P., Huisman J., 1996b. The use of ^{15}N-labeled dietary proteins for determining true ileal digestibilities is limited by their rapid recycling in the endogenous secretions in pigs. J. Nutr., 126, 2188-2198.

Leterme P., Thewis A., van Leeuwen P., Monmart T., Huisman J., 1996c. Chemical composition of pea fibre isolates and their effect on the endogenous amino acid flow at the ileum of the pig. J. Sci. Food Agric., 72, 127-134.

Leterme P. Théwis A., Sève B., 1997. The ^{13}C vs the ^{15}N-leucine infusion technique for the determination of the ileal endogenous N losses in pigs. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, pp 596-599.

Lewis F.J., McEvoy J., McCracken K.J., 1998. Lack of relationship between wheat in vitro viscosity and digestibility parameters for pigs. In : Proc. Ann. Meet. Br. Soc. Anim. Sci., Br. Soc. Anim. Sci. Publ., March, Scarborough, UK, p 32.

Li S., Sauer W.C., Fan M.Z., 1993. The effect of dietary crude protein level on amino acid digestibility in early-weaned piglets. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr., 70, 26-37.

Li S., Sauer W.C., Hardin R.T., 1994. Effect of dietary fibre on amino acid digestibility in young pigs. Can J. Anim. Sci., 74, 327-333.

Li S., Sauer W.C., Huan S.X., Hardin R.T., 1998a. Response of pancreatic secretions to feeding diets with low and high levels of soybean trypsin ihnibitors in growing pigs. J. Sci. Food Agric., 76, 347-356.

Li S., Sauer W.C., Caine W.R., 1998b. Response of nutrient digestibilities to feeding diets with low and high levels of soybean trypsin inhibitors in growing pigs. J. Sci. Food Agric., 76, 357-363.

Lien K.A., Sauer W.C., Mosenthin R., Souffrant W., Dugan M.E.R., 1997. Evaluation of the ^{15}N-isotope dilution technique for determining the recovery of endogenous protein in ileal digestion of pigs : effect of dilution in the precursor pool for endogenous nitrogen secretion. J. Anim. Sci., 75, 148-158.

Liener I.E., 1989. Antinutritional factors in legume seeds : State of the art. In : Recent Advances of Research in Antinutritional Factors in Legume Seeds. Proc. 1st Intern. Workshop, Huisman J., van der Poel A.F.B., LienerI.E. eds, 23-25 November, Wageningen, The Netherlands, pp 6-13.

Lindberg J.E., Cortova Z., 1995. The effect of increasing inclusion of lucerne leaf meal in a barley-based diet on the partition of digestion and on nutrient utilization in pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 56, 11-20.

Longland A.C., 1991. Digestive enzyme activities in pigs and poultry. In : In vitro digestion for pigs and poultry. M.F. Fuller ed., C.A.B. International, Wallingford, UK. pp 3-18.

Low A.G., 1980. Nutrient absorption in pigs. J. Sci. Food Agric., 31, 1087-1130.

Low, A.G., 1982. Digestibility and availability of amino acids from feedstuffs for pigs: a review. Livest. Prod. Sci., 9, 511-520.

Mariscal-Landin G., 1992. Facteurs de variation de l'utilisation digestive des acides aminés chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, 134 pp.

Mariscal-Landin G., Sève B., Colleaux Y., Lebreton Y., 1995. Endogenous amino nitrogen collected from pigs with end-to-end ileorectal anastomosis is affected by the method of estimation and altered by dietary fiber. J. Nutr., 125, 136-146.

Marty B.J., Chavez E.R., 1995. Ileal digestibilities and urinary losses of amino acids in pigs fed heat processed soybean products. Livest. Prod. Sci., 43, 37-48.

Marty B.J., Chavez E.R., de Lange C.F.M., 1994. Recovery of amino acids at the distal ileum for determining apparent and true ileal amino acid digestibilities in growing pigs fed various heat-processed full fat soybean products. J. Anim. Sci., 72, 2029-2037.

Métayer J.P., Grosjean F., Castaing J., 1993. Study of variability in French cereals. Anim. Feed Sci. Technol., 43, 87-108.

Mitaru B.N., Blair R., Reichert R.D., Roe W.E., 1984. Dark and yellow rapeseed hulls, soyabean hulls and purified fiber source: their effects on dry matter, energy, protein and amino acid digestibilities in cannulated pigs. J. Anim. Sci., 59, 1510-1518.

Mosenthin R., Sauer W.C., 1991. The effect of source of fibre on pancreatic secretions and amino

acid digestibility in the pig. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr., 65, 45-52.

Mosenthin R., Sauer W.C., de Lange C.F.M., 1992a. Tracer studies of urea kinetics in growing pigs. 1. The effect of intravenous infusion of urea on urea recycling and the site of urea secretion into the gastrointestinal tract. J. Anim. Sci., 70, 3458-3466.

Mosenthin R., Sauer W.C., Ahrens F., 1994. Dietary pectin's effect on ileal and fecal amino acid digestibility and exocrine pancreatic secretions in growing pigs. J. Nutr., 124, 1222-1229.

Moughan P.J., Rutherfurd S.H., 1990. Endogenous flow of total lysine and other amino acids at the distal ileum of the protein- or peptide- fed rat: the chemical labelling of gelatin by transformation of lysine to homoarginine. J. Sci. Food Agric., 52, 179-192.

Moughan P.J., Schuttert G., 1991. Composition of nitrogen containing fractions in digesta from the distal ileum of pigs fed a protein-free diet. J. Nutr., 121, 1570-1574.

Moughan P.J., Schuttert G., Leenaars M., 1992. Endogenous amino acid flow in the stomach and small intestine of the young growing pig. J. Sci. Food Agric., 60, 437-442.

Nyachoti C.M., de Lange C.F.M., Schulze H., 1997a. Estimating endogenous amino acid flows at the terminal ileum and true ileal amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs using the homoarginine method. J. Anim. Sci., 75, 3206-3213.

Nyachoti C. M., de Lange C. F. M., McBride B. W., Schulze H., 1997b. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs : a review. Can. J. Anim. Sci., 77, 149-163.

Picard M., Bertrand S., Genin F., Maillard R., 1984. Digestibilité des acides aminés : intérêt de la technique du shunt iléo-rectal chez le porc. Journées Rech. Porcine en France, 16, 355-360.

Poppe S., Meier H., Bennke H.J., Stuwe E., 1983. Zur Protein und Aminosaürenverdaulichkeit in verschiedenen Darmabschnitten beim Schwein. 3. Aminosaürenzusammensetzung von Chymus und Kotprotein. Arch. Tierenähr., 33, 743-748.

Rérat A., 1991. Carbohydrate interaction on protein and amino acid digestibility and absorption and metabolic consequences in the pig. In : Proc. 6th Symp. Protein Metabolism and Nutrition, Eggum B.O., Boisen S., Borsting C., Danfaer A., Hvelplung T. Eds, EAAP-Publication n°59, Vol 2, 9-14 June, Herning, Denmark, pp 37-52.

Ross N., Pfeuffer M., Hagemeister H., 1994. Labelling with ^{15}N as compared with homoarginine suggests a lower prececal digestibility of casein in pigs. J. Nutr., 124, 2404-2409.

Rowan A. M., Moughan P. J., Wilson M. N., 1992. The flows of deoxyribonucleic acid and diaminopimelic acid and the digestibility of dietary fibre components at the terminal ileum, as indicators of microbial activity in the upper digestive tract of ileostomised pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 36, 129-141.

Roy D.M., Schneeman B.O., 1981. Effect of soy protein, casein and trypsin inhibitor on cholesterol, bile acids and pancreatic enzymes in mice. J. Nutr., 111, 878-885.

Rutherfurd S.M., Moughan P.J., 1990. Guanidination of lysine in selected dietary proteins. J. Agric. Food Chem., 38, 209-211.

Sauer W.C., Stothers S.C., Parker R.J., 1977. Apparent availabilities of amino acids in wheat and milling by-products in growing pigs. Can. J. Anim. Sci., 54, 775-784.

Sauer W.C., Ozimek L., 1986. Digestibility of amino acids in swine : results and their practical applications. A review. Livest. Prod. Sci., 15, 367-388.

Savage D.C., 1977. Microbial ecology of the gastrointestinal tract. Ann. Rev. of Microbiol., 31, 107-133.

Schmitz M., Hagemeiter H., Ebersdobler H.F., 1991. Homoarginine labelling is suitable for determination of protein absorption in miniature pigs. J. Nutr., 121, 1575-1580.

Schulze H., van Leeuwen P., Verstegen M.W.A., Huisman J., Souffrant W. B., Ahrens F., 1994a. Effect of level of Dietary Neutral Detergent Fiber on ileal apparent digestibility and ileal

nitrogen losses in pigs. J. Anim. Sci., 72, 2362-2368.

Schulze H., Vertegen M.W.A., Huisman J., 1994b. Soybean trypsin inhibitors affect ileal endogenous and exogenous nitrogen flow in pigs. In : Endogenous ileal nitrogen losses in pigs - Dietary factors. PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Animal Nutrition Department, The Netherlands, pp 79-92.

Schulze H., Butts C.A., Moughan P.J., Verstegen M.W.A., 1995a. The ^{15}N-isotope dilution method for determining ileal endogenous nitrogen excretion in the young (10 kg Liveweight) pig J. Sci. Food Agric., 69, 41-50.

Schulze H., van Leeuven P., Verstegen M.W.A., ven den Berg J.W.O., 1995b. Dietary level and source of neutral detergent fiber and ileal endogenous nitrogen flow in pigs. J. Anim. Sci., 73, 441-448.

Schulze H., Sainin H.S., Huisman J., Hessing M., van den Berg W., Verstegen M., 1995c. Increased nitrogen secretion by inclusion of soya lectin in the diets of pigs. J. Sci. Food Agric., 69, 501-510.

Sève B., 1994. Alimentation du porc en croissance : intégration des concepts de protéine idéale, de disponibilité digestive des acides aminés et d'énergie nette. Prod. Anim., 7, 275-291.

Sève B., Mariscal-Landin G., Février C., Lechevestrier Y., 1994. Prédiction de la digestibilité iléale des acides aminés chez le porc : le cas des issues de blé. Journées Rech. Porcine en France, 26, 259-266.

Sève B., Henry Y., 1996. Protein utilisation in non ruminants. In : Proc. 7th Symp. on Protein Metabolism and Nutrition, A.F. Nunes, A.V. Portugal, J.P. Costa, J.R. Ribeiro Eds, EAAP Pub. N° 81, 24-27 May 1995, Vale de Santarém, Portugal, 59-82.

Siriwan P., Bryden W.L., Annison E.F., 1994. Use of guanidinated dietary protein to measure losses of endogenous amino acids in poultry. Br. J. Nutr., 71, 515-529.

Souffrant W.B., 1991. Endogenous nitrogen losses during digestion in pigs. In : Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. Verstegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., eds.EAAP publication n°54, Pudoc, April 24-26, 1991, Wageningen, The Netherlands, 147-166.

Souffrant W.B., Rérat A., Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Kohler R., Corring T., Gebhardt G., 1993. Exogenous and endogenous contribution to nitrogen fluxes in the digestive tract of pigs fed a casein diet. III. Recycling of endogenous nitrogen. Reprod. Nutr. Dev., 33, 373-382.

Souffrant W.B., Février C., Laplace J.P., Hennig U., 1997. Comparaison of methods to estimate ileal endogenous nitrogen and amino acids in piglets. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, pp 591-595.

Stein H.H., 1998a. The effect of feeding level and physiological state on total flow and amino acid composition of endogenous protein in swine. In : Comparative amino acid digestibilities in growing pigs and sows. PhD Thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois, USA, pp 122-143.

Stein H.H., 1998b. Evaluation of the use of a casein-diet to measure endogenous losses of amino acids at the distal ileum of growing pigs and sows. In : Comparative amino acid digestibilities in growing pigs and sows. PhD Thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois, USA, pp 144-167.

Stein H.H., 1998c. The effects of dietary protein and daily feed intake on the additivity of apparent and standardized digestibility coefficients for amino acids in corn and soyabean meal. In : Comparative amino acid digestibilities in growing pigs and sows. PhD Thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois, USA, pp 185-214.

Stein H.H., 1998d. Effect of body weight on total losses and amino acid composition of endogenous protein in growing pigs. In : Comparative amino acid digestibilities in growing pigs and sows. PhD Thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois, USA, pp 215-236.

Taverner M.R., Hume I.D., Farell D.J., 1981. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 1. Endogenous levels of amino acids in ileal digesta and faeces of pigs given cereal diets. Br. J. Nutr., 46, 149-158.

Temler R.S., Dormond C.A., Simon E., Morel B., 1984. The effect of feeding soybean trypsin inhibitor and repeated injections of cholecystokinin on rat pancreas. Br. J. Nutr., 33, 181-196.

Torrallardona D., van Cauwenberghe S., Gatel F., 1997a. Protein and amino acid ileal digestibility measured by two different techniques. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, pp 413-416.

Torrallardona D., Pérez Moya S., Pérez Vendrell A.M., Brufau J., 1997b. Effect of exogenous cell wall degrading enzymes on the apparent ileal digestibility of barley nutrients for growing pigs. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, 458-461.

van Barneveld R.J., Batterham E.S., Norton B.W., 1994. The effect of heat on amino acids for growing pigs. 3. The availability of lysine from heat-treated field peas (Pisum sativum cultivar Dundale) determined using the slope-ratio assay. Br. J. Nutr., 72, 257-275.

van der Poel A.F.B., Blonk J., Huisman J., den Hartog L.A., 1991. Effect of steam processing temperature and time on the protein nutritional value of Phaseolus vulgaris beans for swine. Livest. Prod. Sci., 28, 305-319.

van Leeuwen P., Sauer W.C., Huisman J., van Weerden E.J., van Kleef D., den Hartog L.A., 1987. Methodological aspects for the determination of amino acid digestibilities in pigs fitted with ileo-cecal re-entrant cannulas. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr., 58, 122-133.

van Leeuwen P., van Kleef D.J., van Kempen G.J.M., Huisman J., Vertegen M.W.A., 1991. The Post Valve T-caecum cannulation technique in pigs applicated to determine the digestibility of amino acids in maize, groundnut and sunflower meal. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr., 65, 183-193.

Wünsche J., Hermann U., Meinl M., Hennig U., Kreienbring F., Zwierz P., 1987. Einfluss exogener Faktoren auf die präzäkale Nährstoff- und Aminosaüren- resorption, ermittelt an Schweinen mit ileo-rektal Anastomosen. 1. Mitteilung : Einfluss des Zerkleinerungsgrades von Getreide. Arch. Tierernähr., 37, 745-764.

Wünsche J., Völker T., Borgman E., Souffrant W.B., 1991. Assessing the proportion of bacterial nitrogen in faeces and digesta of pigs using DAP estimation and bacterial fractionation. In : Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. Verstegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., eds. EAAP publication n°54, Pudoc, April 24-26, 1991, Wageningen, The Netherlands, pp 310-316.

Yen J. T., Jensen A.H., Simon J., 1977. Effect of dietary raw soybean trypsin ihnibitor on trypsin and chymotrypsin activities in the pancreas and in small intestine juice of growing swine. J. Nutr., 107, 156-165.

Partie II. Expérimentation

I - Matériel et méthodes

Résumé

Ce premier chapitre est destiné à donner une vue globale de l'expérimentation qui a été entreprise ainsi que des méthodes expérimentales, analytiques et statistiques qui ont été mises en œuvre.

L'expérimentation a duré de 1990 à 1996 et a nécessité l'utilisation de seize groupes de quatre animaux. Soixante-dix-sept lots de matière première ont fait l'objet d'une mesure de digestibilité iléale des acides aminés. Chacun des lots a été testé sur les quatre porcs d'un même groupe et à un stade (poids de l'animal, âge de l'anastomose) donné. Par ailleurs, l'excrétion d'azote et d'acides aminés consécutive à l'ingestion d'un aliment protéiprive a été mesurée, à deux stades, sur chacun des quatre animaux des trois premiers groupes. A posteriori, les lots de matières premières ont été classés en ensembles homogènes (protéiprive, céréales, co-produits de meunerie, corn gluten feed et tourteaux d'oléagineux) faisant l'objet de chapitres distincts de la partie expérimentation de ce document.

Les animaux ont été préparés en anastomose iléo-rectale termino-terminale au poids vif de 25 kg. La seule source de protéine de chacun des aliments expérimentaux était la matière première à tester. En fonction de sa teneur en protéine, elle était soit seulement additionnée d'un aliment minéral et vitaminique soit d'un mélange amidon de maïs/sucre (1/1) et d'un aliment minéral et vitaminique. Chaque test de déroulait en une phase d'adaptation de 5 jours suivie d'une période de collecte totale des digesta de deux jours. Pendant toute la période, la quantité quotidienne d'aliment offerte était fixée à 90 g aliment/kg $PV^{0.75}$.

Chacun des lots de matières premières a fait l'objet de la mesure des teneurs en matière sèche, matière grasse, cellulose brute, NDF, ADF, ADL. La teneur en azote du résidu NDF a été mesurée sur les céréales et leurs co-produits. En outre, les teneurs en arabinoxylanes et β-glucanes solubles ainsi que la viscosité d'un extrait aqueux ont été déterminées pour les céréales. L'activité antitrypsique des lots de tourteau de soja a été mesurée.

Pour chaque lot de matière première, la digestibilité iléale vraie, prenant en compte l'excrétion endogène basale, et la digestibilité réelle, prenant en compte l'excrétion endogène totale, ont été calculées. L'excrétion endogène basale a été mesurée au moyen d'un aliment protéiprive et est commune à tous les lots de matière première. L'excrétion endogène totale a été estimée par régression linéaire multiple pour chacun des lots de matière première.

Pour chacune des classes de matière première (céréales, co-produits de meunerie, corn gluten feed, tourteaux d'oléagineux) la variabilité entre lots intra matière première, ainsi que les différences entre matières premières ont été évaluées pour la digestibilité vraie, la digestibilité réelle et l'excrétion endogène totale d'acides aminés. De plus, leur prédiction à partir des caractéristiques analytiques la matière première et des caractéristiques de l'animal a été tentée.

I - Matériel et méthodes

A - STRUCTURATION DE L'ETUDE

L'objectif général de ce travail était de mesurer la digestibilité iléale des acides aminés de matières premières commerciales chez le porc en croissance et d'en déterminer les principaux facteurs de variation. Une telle entreprise, qui supposait de tester un grand nombre de lots de matières premières, imposait de travailler sur un grand nombre d'animaux et sur une large échelle de temps. Nous avons choisi de travailler par groupes de 4 animaux sur lesquels ont été testés 10 à 15 lots de matière première. Chacun des lots de matière première a donc été testé sur les 4 animaux d'un même groupe, à un stade donné. Les expériences se sont déroulées de 1990 à 1996 et ont nécessité la préparation de 16 groupes indépendants d'animaux sur lesquels ont été testés environ 160 lots de matière première. Cette thèse rend compte des résultats obtenus pour environ 80 d'entre eux, appartenant à des groupes de matières premières couramment utilisées dans l'alimentation du porc. Ces lots de matière première sont regroupés par classes (céréales, co-produits de meunerie, corn gluten feed et tourteaux d'oléagineux), faisant chacune l'objet d'un chapitre. Les classes étudiées, assorties du nombre de lots de matière première, sont présentées au ***Tableau 6 (p 66)***. Le ***Tableau 7 (p 67)*** précise la distribution des aliments expérimentaux entre les groupes d'animaux ainsi que le poids moyen, estimé au moment de la collecte des digesta, des animaux qui les ont reçus.

La valeur de digestibilité iléale vraie, que nous privilégions dans ce travail, repose sur la détermination de l'excrétion azotée endogène basale. La première expérience a été menée dans le but de mesurer l'excrétion azotée endogène basale consécutive à l'ingestion d'un aliment protéiprive et d'évaluer l'effet de l'animal, de son stade et du groupe d'animaux, à la fois sur le niveau d'excrétion azotée endogène basale et sur le profil de la protéine endogène.

B - METHODOLOGIE GENERALE

B.1 - Les animaux

Les animaux sont des porcs mâles castrés Large White, pour les groupes d'animaux A à D, ou (Large White x Landrace) x (Large White x Piétrain), pour les groupes d'animaux E à P. Ils sont préparés en anastomose iléo-rectale termino-terminale, sans préservation de la valvule iléo-cæcale, au poids vif de 25 à 30 kg, selon la technique décrite par Picard et al. (1984) et Laplace et al. (1989). Cette préparation, dont le principe est rappelé ***Figure 12 (p 66)***, permet une collecte totale des jus iléaux produits. Brièvement, l'animal est placé sous anesthésie générale par un mélange oxygène-halothane. L'iléon terminal est sectionné 8 cm en amont de la jonction iléo-colique et l'extrémité distale est fermée par une suture en bourse. Le côlon hélicoïdal est isolé par section à 15 cm en amont de l'anus puis il est fermé par une suture en bourse. La partie proximale de l'iléon, non fermée, est alors suturée sur le rectum. Une incision de 2 cm environ est pratiquée à proximité de l'extrémité distale du colon isolé et la base d'une canule en T y est introduite. Elle est ensuite extériorisée de l'abdomen sur le flanc gauche de l'animal. Cette canule, qui a pour fonction de permettre l'évacuation des digesta présents dans le côlon au moment de l'opération, est éliminée à l'issue de la période post-opératoire. Pendant cette période, qui dure au moins quatre semaine, les animaux sont progressivement réadaptés à une

alimentation standard : de 50 g le lendemain de l'opération, la ration est augmentée de 100 g par jour jusqu'à un niveau de consommation normal. Les animaux sont préparés par groupes de cinq. A l'issue de la période post-opératoire, quatre d'entre eux sont choisis pour les mesures de digestibilité, sur la base de leur comportement en cage.

B.2 - Logement

Les animaux sont placés dans des cages à bilan. Ces cages, dont les dimensions sont adaptables à la taille des animaux, sont munies d'un réservoir en matière plastique destiné à la collecte totale des digesta. Elles sont équipées d'une sucette d'arrivée d'eau. L'auge est fixée sur la partie avant de la cage au moment du repas et retirée dès que l'animal l'a terminé. La température du local est fixée à 20°C.

B.3 - Aliments expérimentaux

Les matières premières sont broyées à l'aide d'un broyeur à marteaux muni d'une grille à trous de 2 mm de diamètre. Un aliment minéral et vitaminique (AMV), formulé pour tenir compte de la suppression des synthèses vitaminiques normalement assurées par la microflore du côlon et de l'interruption de la réabsorption colique des électrolytes ***(Tableau 20, p 80)***, est incorporé à 5.5% dans tous les aliments.

B.3.1 - Aliment protéiprive

L'aliment protéiprive est constitué de matières premières dépourvues de protéines (amidon de maïs, sucre, cellulose, huile). Sa composition centésimale est précisée au ***Tableau 8 (p 69).***

B.3.2 - Aliments à bases de matières premières

De façon générale, les céréales et les co-produits de meunerie sont introduits à 94.5% dans l'aliment expérimental, le complément étant l'aliment minéral et vitaminique. Toutefois, pour des raisons d'ingestibilité, essentiellement liées à la teneur en fibres des aliments, le niveau d'incorporation des lots de son de blé a dû être substantiellement diminué (52.5 à 84.2%). Le taux d'incorporation des matières premières les plus riches en protéine est calculé de telle sorte que l'aliment expérimental contienne environ 17% de protéine (Nx6.25). Le complément est un mélange amidon de maïs/sucre (1/1), incorporé en proportion variable selon la matière première expérimentale, et 5.5% de l'AMV. La composition centésimale des aliments expérimentaux est présentée du ***Tableau 9 (p 69)*** au ***Tableau 19 (p 79).***

B.4 - Alimentation

Les animaux sont nourris deux fois par jour à 8 heures et à 16 heures. L'aliment est présenté sous forme de farine humidifiée au moment du repas (1 volume de farine pour 2 volumes d'eau). Les animaux disposent d'eau à volonté. La quantité d'aliment distribuée quotidiennement est fixée chaque semaine, à partir du poids des animaux qui est mesuré toutes les quatre semaines, et reste inchangée pendant les sept jours que dure un test. Pour les aliments contenant les matières premières à tester, la quantité quotidienne d'aliment offerte est de 90 g d'aliment par kg de poids métabolique ($PV^{0.75}$). Pour l'aliment protéiprive, les animaux ont reçu une quantité d'aliment correspondant à 110 g/kg PV^{075}. Cette quantité d'aliment distribuée a été fixée en fonction d'expériences antérieures, menées dans notre laboratoire, et ayant montré une grande variabilité du niveau de consommation de ce type d'aliment. Une demi-heure après la distribution, les auges sont retirées et les refus collectés, séchés et pesés pour déterminer la consommation effective.

B.5 - Collecte des digesta

Selon les indications de Green et al. (1987), chaque test se déroule en deux phases : une phase d'adaptation de cinq jours suivie d'une période de collecte totale des digesta de deux jours. Pendant ces deux jours, les jus iléaux sont totalement collectés deux fois par jour, à 8 heures et à 16 heures, et immédiatement placés à + 4°C. A la fin de la période de collecte, les excréta d'un même animal sont mélangés puis homogénéisés. Deux échantillons sont alors prélevés, l'un est séché à l'étuve (80°C pendant 72 heures) pour déterminer sa teneur en matière sèche, l'autre est lyophilisé avant détermination de ses teneurs en azote et acides aminés.

B.6 - Caractérisation analytique des matières premières, des aliments expérimentaux et des jus iléaux

Toutes les analyses sont effectuées en double. Les dosages de l'azote et des acides aminés sont effectués sur les matières premières, les aliments et les digesta. Les autres analyses sont effectuées sur les matières premières uniquement. Les dosages d'acides aminés sont effectués au laboratoire d'analyses EUROLYSINE (Amiens, France). Les autres dosages sont effectués au laboratoire d'analyses biochimiques ITCF (Boigneville, France). Les caractéristiques analytiques de chacun des lots de matière première sont présentées ***du Tableau 9 (p 69)*** au ***Tableau 19 (p 79).***

B.6.1 - Dosage des acides aminés

La libération des acides aminés est obtenue par hydrolyse pendant 23 heures dans HCl 6 N à 110°C (AFNOR, 1993a). Les acides aminés sont séparés par chromatographie sur colonne échangeuse d'ions (analyseur automatique : Beckman 6300, USA). Pour le dosage des acides aminés soufrés, les échantillons sont soumis à une oxydation performique préalablement à l'hydrolyse. Cette oxydation permet de mesurer les teneurs en méthionine et en cystine sous leur forme stable en milieu acide : la méthionine-sulfone et l'acide cystéique. Pour le tryptophane, l'hydrolyse est menée en milieu alcalin (hydroxyde de baryum) à 125°C pendant 16 heures (Landry et Delhaye, 1992) et la séparation est réalisée par HPLC, suivie d'une détection fluorométrique (Kontron, France).

B.6.2 - Caractérisation analytique des lots de matière première

Tous les lots de matière première ont fait l'objet de la détermination des caractéristiques suivantes : teneur en eau pour détermination de la teneur en matière sèche (MS), matière minérale (MM), azote (N), matière grasse (MG), cellulose brute (CB), NDF (Neutral Detergent Fibre), ADF (Acid Detergent Fibre), ADL (Acid Detergent Lignin). La teneur en amidon a été mesurée sur tous les lots à l'exception des tourteaux d'oléagineux. Tous les lots, à l'exception des tourteaux d'oléagineux et de 5 lots de triticale, ont fait l'objet de la détermination de la teneur en azote du résidu NDF (NNDF). Les teneurs en arabinoxylanes solubles (AX sol.), β-glucanes solubles (β-G sol.) ainsi que la viscosité de l'extrait aqueux ont été mesurés sur les lots de céréales. La teneur en tannins a été déterminée sur les lots de sorgho uniquement et l'activité antitrypsique sur les lots de tourteau de soja uniquement.

La teneur en matière sèche est déterminée à 103°C par dessiccation jusqu'à poids constant (AFNOR, 1976). La teneur en matière minérale est mesurée par incinération à 550°C pendant 8 heures (AFNOR, 1977b). La teneur en azote est mesurée selon la méthode Kjeldahl (AFNOR, 1977a), au moyen d'un appareil automatique (Kjel-foss, Foss-Electric, Danemark). Selon cette technique, la matière organique est minéralisée

par de l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, les produits de la réaction sont ensuite alcalinisés puis l'ammoniac libéré est titré. La teneur en matière grasse est déterminée, sans hydrolyse préalable (OJEC, 1984) : les matières grasses sont extraites à l'éther de pétrole, le solvant est éliminé par distillation et dessication puis le résidu est pesé. La teneur en amidon est obtenue selon la méthode polarimétrique Ewers (OJEC, 1980) selon laquelle l'amidon est hydrolysé par de l'acide chlorhydrique bouillant avant la mesure de la rotation spécifique (POL.400, Isabiologie, France). La cellulose brute est dosée selon la méthode de Weende (AFNOR, 1993b). Selon cette méthode, l'échantillon est traité par une solution d'acide sulfurique, puis le résidu insoluble est traité par une solution d'hydroxyde de potassium. La cellulose brute est le résidu séché de ce deuxième traitement dont les matières minérales, déterminées par incinération ont été soustraites. Les teneurs en NDF, ADF et ADL sont obtenues par dosage séquentiel selon la méthode décrite par van Soest et al. (1991) (Fibertec system, Tecator, Suède). Selon cette méthode, l'amidon est éliminé par un pré-traitement avec une amylase thermostable (Thermamyl). Le NDF est le résidu après extraction avec le détergent neutre puis séchage. Le résidu ADF est obtenu en faisant agir le détergent acide sur le résidu NDF. L'ADL est obtenu par l'action d'acide sulfurique 72% sur le résidu ADF qui entraîne la solubilisation de la cellulose. Les teneurs en NDF, ADF et ADL sont calculées après soustraction de la teneur en minéraux du résidu ADL, qui est obtenue par incinération. La détermination de la teneur en N du résidu NDF est obtenue par les dosages successifs du NDF et de l'azote tels que décrits précédemment. La viscosité de l'extrait aqueux est déterminée selon la méthode décrite par Grosjean et al. (1999) : l'extrait aqueux est obtenu par la centrifugation d'une suspension obtenue par le trempage, sous agitation, de grain broyé dans de l'eau désionisée. Le surnageant, après avoir été chauffé et centrifugé, est filtré (0.45 μm). La viscosité est mesurée au moyen d'un viscosimètre capillaire (AVS 310, Schott Geräte, Allemagne). La viscosité relative de l'extrait aqueux (VR) est le temps de chute de l'échantillon rapporté à celui d'eau désionisée. La teneur en arabinoxylanes solubles est mesurée par colorimétrie selon la méthode décrite par Rouau et Surget (1994) (Evolution II, Alliance Instrument, France) et la teneur en β-glucanes solubles par spectrophotométrie (UVIKON 930, Kotron Instrument, France) après hydrolyse enzymatique selon la méthode décrite par Mc Cleary et al. (1986). La teneur en tannins des lots de sorgho a été mesurée par spectrophotométrie après extraction des tannins par le diméthylformamide, en prenant l'acide tannique comme référence (AFNOR, 1985). L'activité antitrypsique sur les lots de tourteaux de soja a été déterminée par mesure de l'activité de la trypsine bovine purifiée agissant sur un substrat standard (AOCS, 1983).

C - CALCULS ET TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES

C.1 - Calcul de la digestibilité

La terminologie est calquée sur celle que propose Low (1982).

Pour chacun des animaux, et chacun des acides aminés, la digestibilité iléale apparente (da) est calculée comme suit :

$$da\ AA_i = \frac{MSI \times AA_i\ alim. - MSE \times AA_i\ excr.}{MSI \times AA_i\ alim.}$$

- MSI = matière sèche ingérée (kg/j)
- MSE = matière sèche excrétée (kg/j)

– AA_i alim. : teneur de l'aliment en acide aminé i (g/kg MS)
– AA_i excr. : teneur des excréta en acide aminé i (g/kg MS)

La digestibilité iléale vraie (dv) et la digestibilité réelle (dr) de chacun des acides aminés sont calculées en soustrayant l'excrétion endogène au total excrété.

$$\text{dv ou dr } AA_i = \frac{MSI \times AA_i \text{ alim.} - MSE \times AA_i \text{ excr.} + MSI \times AA_i \text{ endo}}{MSI \times AA_i \text{ alim.}}$$

– MSI = matière sèche ingérée (kg/j)
– MSE = matière sèche excrétée (kg/j)
– AA_i alim. : teneur de l'aliment en acide aminé i (g/kg MS)
– AA_i excr. : teneur des excréta en acide aminé i (g/kg MS)
– AA_i endo. : quantité d'acide aminé i d'origine endogène excrétée (g/kg MSI)

Pour le calcul de la digestibilité vraie, on considère que l'excrétion endogène d'un acide aminé donné est proportionnelle à la quantité de matière sèche ingérée. Elle représente la perte endogène basale, indépendante de la nature de l'aliment ingéré. Dans notre étude, elle prend la même valeur, quel que soit l'animal et quel que soit son stade. Ce parti pris est discuté au chapitre suivant ***(Partie II-II -)***. Les valeurs prises en compte sont données ***Partie II-II - (Tableau 23 p 99)***.

Pour le calcul de la digestibilité réelle, la quantité totale d'acide aminé d'origine endogène excrétée est prise en compte. Il s'agit de l'excrétion azotée endogène basale à laquelle s'ajoute l'excrétion endogène spécifique de l'aliment ingéré. La détermination, par aliment, de l'excrétion endogène totale d'acides aminés est effectuée selon la méthodologie décrite au ***§ C.3 - (p 62).***

C.2 - Estimation des fractions constitutives des digesta

Trois méthodes distinctes ont été mises en œuvre pour estimer les fractions constitutives des digesta :

- calcul de la distance du χ^2
- régression linéaire multiple
- analyse factorielle des correspondances

Toutes trois reposent sur la comparaison du profil de la protéine excrétée à celui de protéines de référence. Le profil est calculé comme le rapport entre la teneur des digesta en chacun des acides aminés et la teneur totale en acides aminés. La proline, dont nous n'avons pas déterminé la teneur, et le tryptophane, absent de certaines références, n'ont pas été pris en compte dans les calculs.

Ces méthodes ont été appliquées à tous les lots de matières premières. Le profil de la protéine excrétée a été comparé à celui :

- de la protéine endogène basale tel que déterminé ***Partie II.II -***
- de la protéine alimentaire
- de la protéine liée au résidu NDF. Ces derniers profils n'ont pas été déterminés dans notre étude mais sont issus de données de la littérature (Mariscal-Landin, 1992 ; Lechevestrier, 1996).

Ces méthodes ont également été mises en œuvre pour estimer les fractions constitutives de la protéine endogène basale. Le profil de la protéine endogène basale a été comparé à celui de protéines de référence issues de la littérature (protéines endogènes purifiées et protéines bactériennes). La nature de ces protéines de référence est détaillée ***Partie II-II - (Tableau 26, p 101)***.

C.2.1 - Calcul de la distance du χ^2

Cette méthode, décrite par Guilloteau et al. (1983), permet la comparaison deux à deux de la protéine excrétée à des protéines de référence : plus la distance du χ^2 est faible, plus les protéines comparées présentent des profils similaires.

La distance du χ^2 est calculée selon la formule suivante :

$$\text{distance du } \chi^2 = n \times \sum_{k=1}^{n} \frac{(AAik - AAik)^2}{\frac{AAik + AAjk}{2}},$$

où AA_{ik} : % d'acide aminé k dans la protéine i
AA_{jk} : % d'acide aminé k dans la protéine j
n = 16 (nombre d'acides aminés pris en compte)

C.2.2 - Régression linéaire multiple

Ces comparaisons deux à deux ont été complétées par le calcul de la proportion théorique des différentes fractions constitutives des digesta selon le modèle proposé par Duvaux et al. (1990). Ce modèle combine une analyse de régression multiple, avec ordonnée à l'origine nulle, et le calcul de la distance du χ^2.

n = 16 équations de la forme suivante sont résolues :

$$AA_{i,digesta} = x_1\ AA_{i,1} + x_2\ AA_{i,2} + .. + x_k\ AA_{i,k} + .. + x_m\ AA_{i,m} \quad (1)$$

- m : nombre de protéines de références
- n : nombre d'acides aminés pris en compte
- $AA_{i,digesta}$ = % AA_i dans les digesta (i variant de 1 à n)
- $AA_{i,k}$ = % AA_i dans la protéine de référence k (k variant de 1 à m)

en minimisant la distance du χ^2 :

$$\chi^2 = n \times \sum_{i=1}^{n} \frac{(AAi,digesta - AAi,mixture)^2}{\frac{AAi,digesta + AAi,mixture}{2}}$$

- n : nombre d'acides aminés pris en compte (n = 16)
- $AA_{i,digesta}$: % d'acide aminé i dans les digesta
- $AA_{i,mixture}$: % d'acide aminé i dans le mélange de protéines de référence

Cette méthode repose donc sur la résolution, par une régression linéaire multiple, avec ordonnée à l'origine nulle, de n équations de forme (1) mais dans laquelle chacun des termes est divisé par la racine carrée du pourcentage de l'acide aminé i dans les digesta.

C.2.3 - Analyse factorielle des correspondances

Les profils des digesta ont été comparés aux protéines de référence au moyen d'une analyse factorielle des correspondances, mise en œuvre pour chacun des types de matière première. Afin de rendre les résultats de cette analyse cohérents avec ceux de l'analyse de régression décrite précédemment, c'est-à-dire d'expliquer le profil de la protéine excrétée à partir de ceux des protéines de référence, seuls ces derniers contribuent à l'élaboration des axes, les profils de digesta qu'on cherche à décrire étant considérés comme des variables supplémentaires.

C.3 - Calcul de l'excrétion endogène d'acides aminés

La méthode de régression, proposée par Duvaux et al. (1990) et décrite au ***§ C.2.2 - (p 62)***, informe sur la proportion probable d'acides aminés d'origine endogène dans les digesta. Combinée à la quantité totale d'acides aminés excrétée, cette proportion permet de calculer la quantité d'acides aminés d'origine endogène excrétée après l'ingestion d'un aliment donné.

$$\Sigma \text{ AA endo} = \text{prop.} \times \Sigma \text{AA excr.}$$

- Σ AA endo : quantité d'acides aminés d'origine endogène excrétée (g/kg MSI)
- prop : proportion d'acides aminés d'origine endogène dans les digesta telle que déterminée par régression
- ΣAA excr. : quantité totale d'acides aminés excrétée (g/kg MSI)

L'excrétion endogène de chacun des acides aminés et de l'azote peut alors être calculée en prenant en compte le profil de la protéine endogène basale. On suppose alors le profil de la protéine endogène est indépendant de l'aliment expérimental.

$$AA_i \text{ endo} = (AA_i / \Sigma AA)_{endob} \times \Sigma AA \text{ endo}$$

- AA_i endo : quantité d'acide aminé i d'origine endogène excrétée (g/kg MSI)
- $(AA_i / \Sigma AA)_{endob}$: proportion d'acide aminé i dans la protéine endogène basale

– Σ AA endo : quantité d'acides aminés d'origine endogène excrétée (g/kg MSI)

Ce calcul a été appliqué à chacun des aliments et à chacun des animaux, lorsque la méthode de régression décrite au ***§ C.2.2 - (p 62)*** conduisait à des résultats pertinents. Il a permis de calculer la digestibilité réelle de chacun des acides aminés pour chaque animal individuellement.

C.4 - Analyses de variance

Dans cette partie, seules sont décrites les analyses de variance qui ont été systématiquement mises en œuvre pour l'étude des matières premières. Pour l'étude de l'excrétion azotée endogène basale, on se réfèrera à la ***Partie II.II -*** . Pour chacune des classes de matières premières étudiées (céréales, co-produits d'amidonnerie, corn gluten feed et tourteaux d'oléagineux), les mêmes analyses de variances ont été mises en œuvre. Elles portent sur la digestibilité iléale vraie et, quand cela était possible, sur la digestibilité iléale réelle.

La première analyse de variance a pour objet de hiérarchiser les lots au sein d'un même type de matière première (l'espèce végétale pour les céréales et les tourteaux d'oléagineux et la dénomination commerciale pour les co-produits de meunerie). Elle a été menée sur chacun des types de matière première. Pour cette analyse, l'effet du lot (L) sur la digestibilité iléale est analysé. Compte tenu de notre dispositif expérimental, qui nous a amené à tester les lots d'un même type de matière première sur des animaux de poids vifs différents, le poids vif de l'animal (PV) est pris comme co-variable. L'interaction PVxL est également testée. En revanche, compte tenu du déséquilibre du dispositif il a été impossible de tester l'éventuel effet du groupe d'animaux sur la digestibilité iléale.

La seconde analyse de variance, est destinée à estimer l'effet du type de matière première au sein d'une même classe. Elle est menée selon un modèle hiérarchique. L'analyse de variance précédente n'ayant révélé que très rarement une interaction PVxL, elle n'a pas été testée dans le second modèle. Ce dernier comprend donc les termes suivant : le poids vif (PV), le type (T), l'interaction PVxT, et le lot au sein du type (L(T)). L'effet du type (T) est testé contre le lot au sein du type (L(T)), alors que l'effet du poids vif (PV) ainsi que l'interaction PVxL sont testés contre l'erreur résiduelle.

C.5 - Prédiction de la digestibilité iléale vraie et de la digestibilité iléale réelle

Des analyses de régression linéaire multiple ont été menées pour tenter de prédire la digestibilité iléale vraie et, le cas échéant, réelle, de l'azote et des acides aminés à partir des caractéristiques analytiques des aliments expérimentaux. Ces analyses ont été menées pour chaque type de matière première individuellement. Les variables sont les suivantes :

- variable à expliquer : digestibilité iléale vraie (ou réelle). Les moyennes par lot de matière première sont introduites dans le modèle et non les variables individuelles par animal.
- variables explicatives :
  – caractéristiques analytiques des aliments expérimentaux (N, MM, CF, NDF, ADF, ADL, MG, NNDF, et, le cas échéant, amidon, AX sol., β-G sol., VR, activité antitrypsique) calculées à partir ce celles des matières premières et de leur pourcentage d'incorporation dans l'aliment expérimental

– rapport entre ces caractéristiques analytiques et la teneur de l'aliment en l'acide aminé dont on cherche à prédire la digestibilité. Ce dernier mode d'expression comporte l'intérêt d'être indépendant du pourcentage d'incorporation de la matière première dans l'aliment expérimental.

C.6 - Prédiction de l'excrétion endogène d'acides aminés

Des analyses de régression linéaire multiple ont été menées pour tenter de prédire la quantité d'acides aminés endogènes excrétée en fonction des caractéristiques analytiques des aliments expérimentaux et des caractéristiques des animaux.

Les variables sont les suivantes :

- variable à expliquer : excrétion endogène d'acides aminés (g/kg MSI). Les valeurs individuelles (par animal), sont introduites dans le modèle.
- variables explicatives :

– caractéristiques analytiques des aliments expérimentaux (N, MM, CF, NDF, ADF, ADL, MG, NNDF, et, le cas échéant, amidon, AX sol., β-G sol., VR, activité antitrypsique) calculées à partir ce celles des matières premières et de leur pourcentage d'incorporation dans l'aliment expérimental

– caractéristiques de l'animal (poids vif, âge de l'anastomose)

– rapport entre ces deux types de caractéristiques.

C.7 - Logiciels utilisés

Les analyses de variance et de covariance ont été effectuées au moyen de la procédure GLM du logiciel SAS (1990). Les analyses de régression linéaire multiple ont été effectuées au moyen de la procédure STEPWISE du logiciel MINITAB (1996). Les analyses factorielles des correspondances ont été effectuées au moyen du logiciel MINITAB (1996).

D - REFERENCES

AFNOR, 1976. Détermination de la teneur en eau. NF V 03-707. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense.

AFNOR, 1977a. Dosage de l'azote en vue du calcul de la teneur en protéines brutes. NF V 18-100. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense.

AFNOR, 1977b. Dosage des cendres brutes. NF V 18-101. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense.

AFNOR, 1985. Dosage des tanins. NF V 03-751. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense.

AFNOR, 1993a. Aliments des animaux, dosage des acides aminés. NF V 18-113. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense.

AFNOR, 1993b. Détermination de la cellulose brute, méthode générale. NF V 03-040. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense.

AOCS, 1983. Official Method Ba12-75. Sampling and analysis of oilseeds by-products. Trypsin inhibitor activity. American Oil Chemist's Society, Champaign, IL, USA.

Duvaux C., Guilloteau P., Toullec R., Sissons J.W., 1990. A new method for estimating the proportions of different proteins in a mixture using amino acid profiles : application to undigested proteins in the preruminant calf. Ann. Zootech., 39, 9-18.

Green S., Bertrand S.L., Duron M.J.C., Maillard R.A., 1987. Digestibility of amino acids in maize, wheat and barley meal measured in pigs with ileo-rectal anastomosis and isolation of the large intestine. J. Sci. Food Agric., 41, 29-43.

Grosjean F., Saulnier L., Maupetit P., Beaux M.F., Flatres M.C., Magnin M., Le Pavec P., Victoire C., 1999. Variability of wheat and other cereal water extract viscosity: 1. Improvements in measuring viscosity. J. Sci. Food Agric., 79, 116-122.

Guilloteau P., Sauvant D., Patureau-Mirand P., 1983. Methods of comparing amino acid composition of proteins : application to the preruminant calf. Annals of Nutrition and Metabolism, 27, 457-469.

Landry J., Delhaye S., 1992. Simplified procedure for determination of tryptophan of foods and feedstuffs from barytic hydrolysis. J. Agric. Food Chem., 40, 776-779.

Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Perez J.P., Henry Y., Giger S., Sauvant D., 1989. Associative effect of feeding different protein-free diets between two fibre sources on ileal and overall digestibilities of amino acids, energy and cell-wall components in growing pigs. Br. J. Nutr., 61, 75-87.

Lechevestrier Y., 1996. Digestion et absorption des acides aminés dans l'intestin grêle du porc. Effets de la composition des protéines alimentaires, de leurs propriétés physiques et des facteurs antinutritionnels. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon, 161 pp.

Low, A.G., 1982. Digestibility and availability of amino acids from feedstuffs for pigs: a review. Livest. Prod. Sci., 9, 511-520.

Mariscal-Landin G., 1992. Facteurs de variation de l'utilisation digestive des acides aminés chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, 134 pp.

Mc Cleary B.V., Gibson T.S., Allen H., Gams T.C., 1986. Enzymic hydrolysis and industrial importance of barley β–glucans and wheat flour pentosans. Starch/Stätke, 38, 433-437.

MINITAB, 1996. MINITAB reference manual (release 11), MINITAB Inc., USA.

OJEC, 1980. Dosage de l'amidon - méthode polarimétrique. EEC 3e-72/199 et rectif.. Official Journal of the European Communities, 27 Novembre 1980.

OJEC, 1984. Dosages des matières grasses brutes. EEC 2e-71/393 mod.84/4. Official Journal of the European Communities, 18 Janvier 1984.

Picard M., Bertrand S., Genin F., Maillard R., 1984. Digestibilité des acides aminés : intérêt de la technique du shunt iléo-rectal chez le porc. Journées Rech. Porcine en France, 16, 355-360.

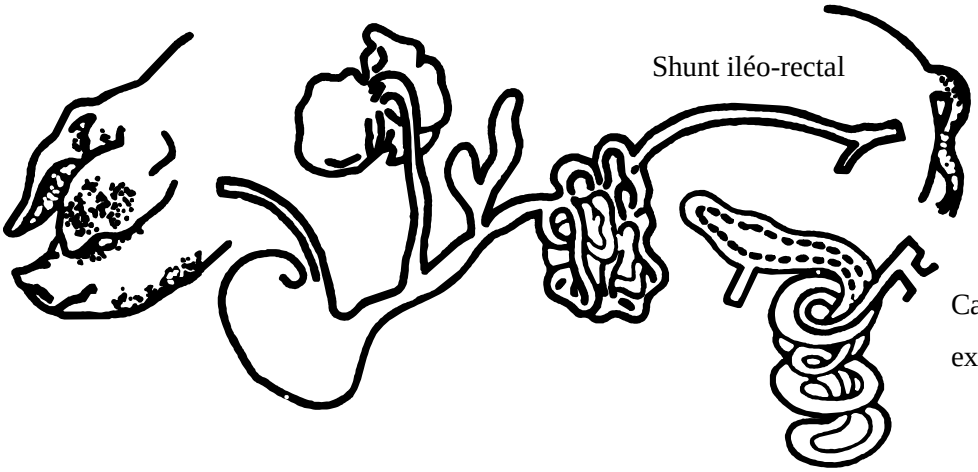
Rouau X., Surget A., 1994. A rapid semi automated method for the determination of total and water extractable pentosans in wheat flours. Carbohydrates Polymers, 24, 123-132.

RPAN, 1993. Rhodimet™ Nutrition Guide. Formulation des aliments en acides aminés digestibles. 2eme édition. 54 p. Rhône Poulenc Animal Nutrition, Antony, France.

SAS, 1990. SAS/STAT®, User's Guide (4th Ed.,vol 2), SAS Inst. Inc., Cary, NC.

van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74, 3583-3597.

Figure 12 : Principe de la préparation chirurgicale (Anastomose iléo-rectale termino-terminale)



(Le caecum et le colon restent en place)

RPAN (1993)

Tableau 6 : Matières premières étudiées : classe, type et nombre de lots par type

Chapitre	Classe	Type	n
II.3	Céréale	Blé	10
II.3	Céréale	Triticale	10
II.3	Céréale	Seigle	5
II.3	Céréale	Orge	5
II.3	Céréale	Maïs	7
II.3	Céréale	Sorgho	6
II.4	Co-produit de meunerie	Farine basse de blé	3
II.4	Co-produit de meunerie	Remoulage de blé	4
II.4	Co-produit de meunerie	Son de blé	3
II.5	Corn gluten feed	Corn Gluten Feed	7
II.6	Tourteau d'oléagineux	Tourteau de colza	4
II.6	Tourteau d'oléagineux	Tourteau de tournesol	4
II.6	Tourteau d'oléagineux	Tourteau de soja	9

n : nombre de lots

Tableau 7: Distribution des matières premières expérimentales entre les groupes d'animaux, nombre de répétitions, consommation moyenne d'aliment, poids vif moyen et âge moyen de l'anastomose au moment de la collecte des digesta

Matière première/Aliment			Animaux							
Type	**Origine**	**Lot**	**Groupe**	**n**	**NA**		**PV**		**O**	
Orge	2 rangs, Finlande	B1	A	3	75	(2)	56	(6)	15	(1)
Aliment protéiprive			A	4	86	(14)	61	(4)	17	(0)
Maïs	Lot Commercial, Allemagne	M1	A	4	75	(1)	83	(5)	24	(1)
Maïs	Lot Commercial, France	M2	A	4	76	(1)	85	(9)	25	(1)
Aliment protéiprive			A	4	63	(3)	95	(5)	29	(0)
Tourteau de soja déshuilé	46, Brésil	SBM5	B	3	75	(2)	63	(5)	12	(2)
Tourteau de soja déshuilé	44, Europe	SBM4	B	3	75	(3)	64	(6)	12	(1)
Remoulage de blé	Pays-Bas	WF1	B	4	72	(2)	74	(3)	16	(1)
Farine basse de blé	Pays-Bas	WM1	B	4	71	(1)	75	(3)	16	(1)
Tourteau de soja déshuilé	44, Europe	SBM3	B	4	69	(1)	98	(2)	22	(0)
Aliment protéiprive			B	4	58	(6)	105	(2)	25	(0)
Aliment protéiprive			C	4	110	(5)	45	(5)	7	(0)
Son de blé	Finlande	WB1	C	4	71	(5)	49	(5)	10	(1)
Blé	Lot Commercial, France	W1	C	4	76	(4)	49	(3)	10	(1)
Tourteau de colza partiellement déshuilé	Europe	RSM3	C	4	78	(1)	53	(3)	13	(1)
Tourteau de colza déshuilé	Europe	RSM1	C	4	80	(4)	53	(5)	13	(1)
Corn Gluten Feed	Europe	MGF1	C	4	79	(3)	59	(5)	18	(1)
Corn Gluten Feed	Europe	MGF3	C	4	80	(1)	59	(8)	18	(1)
Corn Gluten Feed	Europe	MGF2	C	4	76	(4)	61	(9)	18	(1)
Corn Gluten Feed	Europe	MGF4	C	4	79	(4)	59	(7)	18	(1)
Maïs	Lot Commercial, France	M7	C	4	73	(1)	75	(12)	23	(3)
Aliment protéiprive			C	4	75	(3)	88	(13)	26	(0)
Corn Gluten Feed	Europe	MGF5	D	3	74	(3)	46	(2)	7	(2)
Maïs	Lot Commercial, Espagne	M4	D	3	75	(3)	82	(10)	20	(2)
Maïs	Lot Commercial, France	M3	D	3	75	(5)	85	(13)	20	(2)
Tourteau de colza chinois déshuilé	Chine	RSM4	E	3	74	(2)	52	(5)	8	(2)
Tourteau de tournesol déshuilé	Europe	SFM2	E	4	76	(2)	64	(4)	18	(1)
Tourteau de tournesol déshuilé	Argentine	SFM3	E	4	77	(3)	64	(7)	18	(1)
Tourteau de tournesol déshuilé	Europe	SFM1	E	4	74	(5)	65	(6)	18	(2)
Tourteau de soja déshuilé	48, Europe	SBM9	F	4	74	(2)	55	(9)	13	(1)
Blé	Lot Commercial, France	W2	F	4	71	(2)	56	(8)	13	(1)
Sorgho	Blanc, France	S1	G	3	75	(4)	54	(2)	14	(4)
Blé	Lot Commercial, France	W3	H	4	69	(7)	51	(7)	10	(3)
Tourteau de soja déshuilé	46, Europe	SBM7	H	4	78	(6)	53	(6)	11	(3)
Blé	Lot Commercial, GB	W4	H	4	74	(3)	64	(6)	14	(3)
Orge	2 rangs, Pays Bas	B2	H	4	75	(2)	80	(8)	19	(4)
Orge	6 rangs, Pays Bas	B3	H	4	70	(5)	80	(9)	19	(4)
Tourteau de soja déshuilé	46, Europe	SBM6	H	4	76	(3)	81	(8)	19	(3)

Groupe : groupe d'animaux sur lequel la matière première a été testée
n : nombre de répétitions, NA (Niveau alimentaire) : consommation quotidienne d'aliment (g MS/kg $PV^{0.75}$), PV : Poids vif (kg), O : âge de l'anastomose (semaine)
Entre parenthèses : écart type de l'échantillonnage

Tableau 7: Distribution des matières premières expérimentales entre les groupes d'animaux, nombre de répétitions, consommation moyenne d'aliment, poids vif moyen et âge moyen de l'anastomose au moment de la collecte des digesta (suite)

Matière première/Aliment			Animaux							
Type	**Origine**	**Lot**	**Groupe**	**n**	**NA**		**PV**		**O**	
Son de blé	Finlande	WB2	I	3	80	(2)	37	(1)	6	(0)
Corn Gluten Feed	Etats-Unis	MGF6	I	4	73	(3)	42	(2)	9	(1)
Tourteau de soja déshuilé	46, USA	SBM8	I	4	72	(3)	50	(3)	12	(0)
Orge	Hiver 6 rgs (Express), France	B4	I	4	74	(2)	56	(3)	14	(1)
Blé	Thésée, France	W5	I	4	74	(1)	56	(3)	14	(1)
Remoulage de blé	France	WF3	I	4	65	(3)	92	(5)	23	(1)
Farine basse de blé	France	WM2	I	4	72	(2)	92	(5)	23	(1)
Tourteau de colza déshuilé	Europe	RSM2	J	4	77	(3)	40	(3)	8	(1)
Tourteau de soja déshuilé	40, Europe	SBM2	J	4	75	(2)	40	(3)	8	(1)
Corn Gluten Feed	Europe	MGF7	J	4	79	(3)	49	(1)	12	(1)
Blé	Apollo, France	W7	J	3	75	(2)	60	(2)	16	(2)
Blé	Beaver, France	W6	J	3	75	(1)	61	(4)	16	(1)
Son de blé	France	WB3	J	3	78	(0)	67	(3)	20	(0)
Triticale	Dagro, France	T1	K	4	73	(2)	44	(7)	11	(4)
Triticale	Newton, France	T2	K	4	73	(4)	45	(8)	11	(4)
Blé	Ritmo, France	W8	K	4	71	(3)	51	(8)	14	(4)
Blé	Apollo, France	W9	K	4	72	(1)	56	(7)	16	(4)
Orge	Hiver 2 rgs (Magie), France	B5	K	4	72	(3)	57	(4)	16	(3)
Blé	Slepjner, France	W10	K	4	72	(4)	58	(6)	16	(2)
Farine basse de blé	France	WM3	K	3	70	(5)	65	(7)	20	(4)
Remoulage de blé	France	WF2	K	3	69	(4)	68	(8)	20	(3)
Remoulage de blé	France	WF4	K	3	72	(2)	67	(4)	21	(5)
Maïs	Déa, France	M5	L	3	74	(3)	39	(4)	8	(1)
Sorgho	Blanc (Aralba), France	S2	L	3	74	(6)	57	(8)	16	(1)
Maïs	Volga, France	M6	M	3	64	(2)	47	(2)	9	(0)
Triticale	Alamo, France	T5	M	3	70	(2)	54	(7)	11	(2)
Triticale	Magistral, France	T3	M	4	72	(2)	53	(6)	12	(1)
Triticale	Trick, France	T4	M	4	69	(4)	55	(2)	12	(2)
Seigle	Lot Commercial, France	R1	M	3	75	(1)	61	(2)	15	(1)
Seigle	Lot Commercial, France	R2	M	3	74	(2)	62	(4)	15	(1)
Seigle	Lot Commercial, France	R3	M	3	75	(3)	65	(4)	17	(1)
Seigle	Lot Commercial, France	R4	N	4	70	(4)	44	(2)	7	(1)
Seigle	Lot Commercial, France	R5	N	4	70	(2)	44	(2)	7	(1)
Sorgho	Blanc (Aralba), France	S3	N	3	73	(3)	56	(21)	12	(7)
Sorgho	Rouge (DK 34), France	S4	N	3	72	(4)	58	(23)	13	(6)
Sorgho	Rouge (DK 26), France	S6	N	4	75	(3)	66	(4)	14	(1)
Sorgho	Blanc (Taxus), France	S5	N	4	72	(3)	69	(4)	14	(1)
Triticale	Alamo, France	T6	O	4	77	(5)	34	(1)	8	(1)
Triticale	Aubrac, France	T7	O	4	74	(6)	37	(1)	8	(1)
Triticale	Newton, France	T8	O	4	69	(4)	40	(1)	8	(1)
Triticale	Trick, France	T9	O	4	66	(5)	42	(1)	8	(1)
Triticale	Trimaran, France	T10	O	4	73	(2)	51	(6)	12	(1)
Tourteau de soja déshuilé	40, Europe	SBM1	P	4	74	(2)	45	(4)	8	(1)
Tourteau de tournesol déshuilé	Europe	SFM4	P	3	75	(2)	46	(10)	8	(3)

Groupe : groupe d'animaux sur lequel la matière première a été testée
n : nombre de répétitions, NA (Niveau alimentaire) : consommation quotidienne d'aliment (g MS/kg $PV^{0.75}$), PV : Poids vif (kg), O : âge de l'anastomose (semaine)
Entre parenthèses : écart type de l'échantillonnage

Tableau 8 : Composition centésimale de l'aliment protéiprive

Composition centésimale de l'aliment expérimental (%)	
Amidon de maïs	58.0
Sucre	30.0
Cellulose de bois	3.5
Huile de soja	3.0
AMV [(1)]	5.5

AMV [(1)] : ***Voir Tableau 20***

Tableau 9 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Blé

Lot de blé (Wheat)	**W1**	**W2**	**W3**	**W4**	**W5**	**W6**	**W7**	**W8**	**W9**	**W10**
Composition centésimale de l'aliment expérimental (%)										
Matière première expérimentale	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5
Amidon de maïs										
Sucre										
AMV [(1)]	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Caractérisation analytique de la matière première										
Azote (g/kg MS)	27.1	22.1	22.2	24.2	20.5	25.0	19.9	20.3	21.6	22.5
Matière grasse (g/kg MS)	33.9	21.2	21.0	15.6	19.3	17.7	18.1	14.4	17.2	16.9
Cellulose brute (g/kg MS)	30.5	24.4	23.7	33.2	22.4	23.2	25.6	24.3	25.9	24.4
Matière minérale (g/kg MS)	20.3	18.4	16.7	21.5	16.1	18.3	19.9	18.7	21.4	19.8
NDF (g/kg MS)	146.9	113.4	116.1	113.9	111.6	117.9	122.4	122.1	159.3	137.6
ADF (g/kg MS)	37.3	30.0	30.7	35.9	29.6	29.1	32.6	26.5	34.4	26.7
ADL (g/kg MS)	10.2	8.1	8.8	7.3	8.2	9.5	9.8	9.3	10.0	9.3
NNDF (% N total)	9.6	9.7	7.9	7.3	10.0	9.3	10.5	9.6	12.7	10.1
Amidon (g/kg MS)	618.1	687.8	688.7	675.9	698.7	685.7	704.7	704.9	679.6	681.8
Arabinoxylanes solubles (g/kg MS)	4.9	4.0	-	4.5	7.5	7.7	5.6	4.0	6.1	5.5
β-glucanes solubles (g/kg MS)	0.6	1.2	-	0.7	1.1	0.8	1.2	1.0	1.1	1.1
Viscosité relative de l'extrait aqueux	1.6	1.5	-	1.5	1.2	2.1	1.7	1.4	1.6	1.7
Acides aminés (g/16 g N)										
Somme des acides aminés	84.6	77.2	85.2	82.1	78.7	79.8	77.8	86.2	87.0	86.7
Lysine	2.7	2.5	3.7	4.1	2.6	2.9	3.0	2.9	3.0	2.8
Thréonine	2.8	2.6	3.1	3.1	2.5	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
Méthionine	1.8	1.6	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.8	1.8
Cystine	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2
Tryptophane	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Alanine	3.3	3.0	3.4	3.5	3.0	3.3	3.3	3.6	3.7	3.6
Arginine	4.3	4.3	5.6	6.0	5.4	4.7	4.7	4.5	4.6	4.6
Acide Aspartique	5.2	4.6	6.1	6.6	4.2	5.5	5.1	5.2	5.4	5.2
Acide glutamique	29.6	25.7	25.8	22.7	27.0	25.5	24.2	30.3	30.1	30.4
Glycine	3.8	3.5	3.8	3.8	3.3	3.6	3.8	3.9	4.0	3.9
Histidine	2.4	2.3	2.6	2.7	2.7	2.5	2.4	2.1	2.1	2.0
Isoleucine	3.5	3.4	3.7	3.5	3.3	3.3	3.3	3.3	3.5	3.4
Leucine	6.2	6.2	6.7	6.2	5.9	6.2	5.9	6.6	6.6	6.5
Phénylalanine	4.7	4.2	4.6	4.5	4.3	4.2	4.0	4.6	4.7	4.8
Sérine	4.7	4.5	4.9	4.6	4.3	4.6	4.4	4.5	4.3	4.4
Tyrosine	2.0	1.8	2.2	2.4	2.0	2.3	2.4	2.7	2.4	2.7
Valine	4.3	3.8	4.2	4.0	3.6	3.7	3.7	4.5	4.5	4.3

AMV [(1)] : ***Voir Tableau 20***

Tableau 10 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Triticale

Lot de triticale (Triticale)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Composition centésimale de l'aliment expérimental (%)										
Matière première expérimentale	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5
Amidon de maïs										
Sucre										
AMV [(1)]	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Caractérisation analytique de la matière première										
Azote (g/kg MS)	23.7	24.1	18.6	19.8	19.9	16.4	17.2	17.2	17.5	15.0
Matière grasse (g/kg MS)	16.4	15.8	17.1	15.9	14.3	15.5	16.0	15.5	16.1	17.6
Cellulose brute (g/kg MS)	24.4	29.8	28.2	27.3	19.9	22.2	29.7	28.9	29.5	25.1
Matière minérale (g/kg MS)	21.2	23.1	21.7	18.7	19.9	19.7	21.1	22.7	21.2	21.2
NDF (g/kg MS)	128.7	144.8	144.3	129.8	111.0	112.4	128.1	130.1	129.9	103.5
ADF (g/kg MS)	31.3	35.6	34.8	33.3	26.8	28.3	36.4	34.4	35.7	26.7
ADL (g/kg MS)	8.8	12.0	9.0	7.0	7.3	7.0	9.3	9.1	7.9	8.5
NNDF (% N total)	6.7	6.8	10.3	8.0	6.8	-	-	-	-	-
Amidon (g/kg MS)	668.6	648.1	665.8	691.2	692.9	704.5	681.8	693.5	688.5	711.8
Arabinoxylanes solubles (g/kg MS)	7.0	6.5	7.8	6.8	5.0	4.8	6.5	4.0	7.0	5.5
β-glucanes solubles (g/kg MS)	1.4	1.0	1.9	1.2	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9
Viscosité relative de l'extrait aqueux	1.7	1.4	2.4	2.5	1.8	1.6	2.2	1.4	2.2	1.6
Acides aminés (g/16 g N)										
Somme des acides aminés	72.0	74.4	86.0	86.2	84.3	87.0	88.8	89.5	85.9	90.3
Lysine	2.9	2.9	3.6	3.5	3.3	3.7	4.1	3.8	3.9	4.2
Thréonine	2.8	2.9	3.1	2.9	2.8	3.4	3.5	3.3	3.3	3.6
Méthionine	1.5	1.6	1.9	1.7	1.6	1.9	1.9	1.9	1.9	2.1
Cystine	1.8	2.0	2.4	2.3	2.2	2.6	2.6	2.5	2.4	2.7
Tryptophane	0.9	1.0	1.1	1.2	1.0	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3
Alanine	3.4	3.4	4.4	4.3	4.1	4.6	4.8	4.6	4.6	5.0
Arginine	4.2	4.4	5.5	5.3	4.9	4.4	5.8	5.7	5.5	6.1
Acide Aspartique	5.1	5.1	6.9	6.1	5.9	6.8	7.1	6.3	6.5	7.4
Acide glutamique	21.6	23.0	25.8	27.9	28.2	25.9	24.2	26.5	24.2	24.1
Glycine	3.4	3.8	4.3	4.1	3.7	4.4	4.8	4.6	4.5	4.7
Histidine	2.2	2.3	2.2	2.2	1.8	2.2	2.6	2.5	2.4	2.5
Isoleucine	3.0	3.0	3.2	3.2	3.2	3.5	3.4	3.5	3.3	3.5
Leucine	5.5	5.5	6.3	6.4	6.3	6.6	6.6	6.8	6.5	6.8
Phénylalanine	4.0	3.8	4.1	4.3	4.2	4.3	4.4	4.5	4.2	4.2
Sérine	4.2	4.3	4.4	4.5	4.4	4.7	4.6	4.6	4.5	4.6
Tyrosine	1.8	1.8	2.1	2.1	2.1	2.4	2.6	2.5	2.3	2.5
Valine	3.7	3.7	4.5	4.4	4.3	4.5	4.7	4.6	4.6	4.8

AMV [(1)] : ***Voir Tableau 20***

Tableau 11 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Seigle

Lot de seigle (Rye)	**R1**	**R2**	**R3**	**R4**	**R5**
Composition centésimale de l'aliment expérimental (%)					
Matière première expérimentale	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5
Amidon de maïs					
Sucre					
AMV (1)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Caractérisation analytique de la matière première					
Azote (g/kg MS)	13.9	15.1	16.4	14.7	16.8
Matière grasse (g/kg MS)	17.8	15.1	16.8	15.3	16.2
Cellulose brute (g/kg MS)	20.2	21.4	21.7	19.6	23.4
Matière minérale (g/kg MS)	19.2	20.6	20.2	19.8	19.1
NDF (g/kg MS)	123.9	133.1	138.5	135.4	150.2
ADF (g/kg MS)	24.1	27.4	28.7	25.0	32.9
ADL (g/kg MS)	7.9	8.1	8.5	8.4	9.7
NNDF (% N total)	13.9	12.9	13.5	13.9	11.7
Amidon (g/kg MS)	663.8	650.2	638.2	654.9	635.9
Arabinoxylanes solubles (g/kg MS)	12.4	13.2	16.8	12.8	13.1
β-glucanes solubles (g/kg MS)	2.9	-	4.0	-	4.0
Viscosité relative de l'extrait aqueux	5.3	5.1	7.1	4.9	6.6
Acides aminés (g/16 g N)					
Somme des acides aminés	91.6	84.8	82.5	91.4	85.7
Lysine	4.5	4.0	3.9	4.1	3.8
Thréonine	3.6	3.3	3.1	3.5	3.3
Méthionine	2.0	1.7	1.7	1.9	1.8
Cystine	2.6	2.2	2.2	2.5	2.2
Tryptophane	1.1	1.0	1.2	1.1	1.3
Alanine	5.2	4.7	4.4	4.7	4.5
Arginine	6.1	6.1	5.2	6.2	6.1
Acide Aspartique	8.5	7.6	7.6	8.0	7.6
Acide glutamique	24.7	23.4	23.0	26.1	24.3
Glycine	4.8	4.5	4.4	4.6	4.5
Histidine	2.5	2.3	2.2	2.5	2.2
Isoleucine	3.6	3.3	3.2	3.6	3.4
Leucine	6.3	5.8	5.7	6.2	5.9
Phénylalanine	4.6	4.2	4.1	4.7	4.4
Sérine	4.6	4.2	4.2	4.6	4.3
Tyrosine	2.1	1.9	1.9	2.1	1.9
Valine	4.8	4.5	4.4	4.7	4.4

AMV (1) : ***Voir Tableau 20***

Tableau 12 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Orge

Lot d'orge (Barley)	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**
Composition centésimale de l'aliment expérimental (%)					
Matière première expérimentale	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5
Amidon de maïs					
Sucre					
AMV (1)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Caractérisation analytique de la matière première					
Azote (g/kg MS)	20.0	20.2	22.4	22.3	20.4
Matière grasse (g/kg MS)	34.9	22.7	21.6	23.6	21.9
Cellulose brute (g/kg MS)	-	34.1	50.0	60.0	47.1
Matière minérale (g/kg MS)	28.2	23.9	27.3	29.6	22.8
NDF (g/kg MS)	181.4	171.1	211.2	198.2	159.5
ADF (g/kg MS)	45.0	45.8	63.5	64.8	46.9
ADL (g/kg MS)	8.0	8.8	9.3	6.8	7.6
NNDF (% N total)	9.9	7.8	9.5	8.0	7.9
Amidon (g/kg MS)	496.1	608.0	576.1	559.4	609.8
Arabinoxylanes solubles (g/kg MS)	3.4	3.4	4.2	6.0	4.8
β-glucanes solubles (g/kg MS)	10.5	15.8	19.3	24.4	16.7
Viscosité relative de l'extrait aqueux	1.4	7.5	4.5	7.3	8.0
Acides aminés (g/16 g N)					
Somme des acides aminés	84.1	78.3	77.8	79.6	83.6
Lysine	4.0	3.5	3.3	3.3	3.6
Thréonine	3.6	3.2	3.2	3.3	3.3
Méthionine	2.1	1.6	1.6	1.8	1.6
Cystine	2.4	2.0	1.9	1.8	2.1
Tryptophane	1.3	1.1	1.1	1.1	1.3
Alanine	4.0	3.8	3.6	3.4	4.2
Arginine	4.2	4.8	5.1	5.3	4.5
Acide Aspartique	5.7	5.6	5.2	5.1	6.1
Acide glutamique	24.0	21.6	21.8	23.3	24.4
Glycine	4.0	3.7	3.9	3.7	4.0
Histidine	2.2	2.6	2.4	2.6	1.8
Isoleucine	3.6	3.3	3.2	3.3	3.3
Leucine	6.6	6.3	6.1	6.1	6.7
Phénylalanine	4.9	4.7	4.7	4.8	5.0
Sérine	4.5	4.1	4.1	4.1	4.0
Tyrosine	2.0	2.1	2.2	2.2	2.7
Valine	4.9	4.3	4.3	4.2	5.0

AMV (1) : ***Voir Tableau 20***

Tableau 13 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Maïs

Lot de maïs (Maize)	**M1**	**M2**	**M3**	**M4**	**M5**	**M6**	**M7**
Composition centésimale de l'aliment expérimental (%)							
Matière première expérimentale	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5
Amidon de maïs							
Sucre							
AMV [(1)]	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Caractérisation analytique de la matière première							
Azote (g/kg MS)	18.7	16.0	18.1	15.6	20.2	13.2	15.2
Matière grasse (g/kg MS)	42.6	50.9	44.7	40.6	39.2	40.8	53.4
Cellulose brute (g/kg MS)	32.3	18.9	21.8	20.9	22.9	20.5	21.0
Matière minérale (g/kg MS)	17.3	15.4	14.9	15.1	15.8	12.4	15.1
NDF (g/kg MS)	108.6	89.9	97.9	93.7	98.8	94.3	99.0
ADF (g/kg MS)	26.8	22.5	25.4	25.7	25.1	22.1	23.4
ADL (g/kg MS)	4.2	0.8	3.4	4.0	2.4	2.3	1.3
NNDF (% N total)	6.6	5.6	8.0	7.7	6.6	7.6	5.6
Amidon (g/kg MS)	693.5	710.1	696.4	719.3	716.2	764.3	714.0
Arabinoxylanes solubles (g/kg MS)	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8
β-glucanes solubles (g/kg MS)	0.2	0.3	0.8	0.3	0.5	0.3	0.6
Viscosité relative de l'extrait aqueux	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Acides aminés (g/16 g N)							
Somme des acides aminés	88.8	88.3	80.4	84.2	92.3	88.5	82.3
Lysine	3.0	3.0	2.5	2.9	3.0	3.4	3.1
Thréonine	3.7	3.6	3.3	3.3	3.7	3.6	3.8
Méthionine	2.2	2.6	2.0	2.3	1.9	2.3	2.0
Cystine	2.0	2.1	1.9	2.1	1.9	2.3	2.5
Tryptophane	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.9	-
Alanine	8.0	8.0	6.9	7.0	7.8	7.2	7.3
Arginine	3.6	3.4	3.9	4.6	4.2	4.8	4.7
Acide Aspartique	6.3	6.4	5.6	6.0	6.9	6.8	5.0
Acide glutamique	19.0	18.5	17.0	17.5	21.2	19.0	16.8
Glycine	3.4	3.3	3.1	3.5	3.4	4.1	3.7
Histidine	3.0	3.0	2.7	2.6	2.4	2.5	2.3
Isoleucine	3.6	3.7	3.4	3.4	3.6	3.3	3.3
Leucine	12.5	12.4	11.4	11.5	12.9	10.8	11.1
Phénylalanine	5.0	4.9	4.6	4.7	5.4	4.8	4.7
Sérine	5.2	5.1	4.6	4.8	4.8	4.7	4.3
Tyrosine	2.8	2.6	2.5	2.6	3.5	3.0	3.7
Valine	4.9	4.9	4.5	4.5	5.1	4.8	3.9

AMV [(1)] : ***Voir Tableau 20***

Tableau 14 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Sorgho

Lot de sorgho (Sorghum)	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Composition centésimale de l'aliment expérimental (%)						
Matière première expérimentale	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5
Amidon de maïs						
Sucre						
AMV (1)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Caractérisation analytique de la matière première						
Azote (g/kg MS)	20.1	18.2	15.2	18.3	18.8	16.5
Matière grasse (g/kg MS)	37.9	35.6	36.5	34.0	33.3	34.3
Cellulose brute (g/kg MS)	19.1	20.8	24.4	27.7	21.1	22.0
Matière minérale (g/kg MS)	14.7	14.4	14.5	17.8	16.4	14.1
NDF (g/kg MS)	96.2	87.9	79.4	91.4	73.2	73.8
ADF (g/kg MS)	29.5	29.3	27.5	31.9	25.5	26.8
ADL (g/kg MS)	4.2	6.0	4.5	5.4	4.5	4.7
NNDF (% N total)	11.1	10.5	8.1	9.2	7.2	11.4
Amidon (g/kg MS)	740.6	779.3	781.7	742.9	767.6	765.9
Arabinoxylanes solubles (g/kg MS)	0.5	0.6	4.0	4.1	2.1	0.8
β-glucanes solubles (g/kg MS)	0.5	0.3	1.1	1.4	0.7	0.2
Viscosité relative de l'extrait aqueux	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0
Acides aminés (g/16 g N)						
Somme des acides aminés	86.1	84.5	84.7	87.0	87.3	85.7
Lysine	2.3	2.1	2.4	2.1	2.2	2.2
Thréonine	3.2	2.9	3.2	3.1	3.0	3.0
Méthionine	1.7	1.4	2.0	2.0	1.7	1.9
Cystine	1.6	1.6	1.5	1.6	1.3	1.7
Tryptophane	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Alanine	8.4	9.6	8.6	8.8	8.8	8.3
Arginine	3.9	2.2	3.7	3.7	3.6	3.7
Acide Aspartique	6.0	6.4	6.5	6.5	6.6	6.5
Acide glutamique	19.1	20.8	19.5	20.6	21.3	20.1
Glycine	3.0	2.7	3.2	3.1	2.9	3.1
Histidine	2.7	1.5	2.0	2.1	2.1	2.4
Isoleucine	3.7	3.4	3.6	3.6	3.7	3.6
Leucine	11.9	12.2	11.8	12.3	12.8	12.2
Phénylalanine	4.9	4.6	4.5	4.7	4.8	4.5
Sérine	4.3	4.2	4.2	4.3	4.2	4.3
Tyrosine	3.6	3.0	2.7	2.7	2.8	2.8
Valine	4.5	4.6	4.5	4.6	4.6	4.5

AMV (1) : ***Voir Tableau 20***

Tableau 15 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Co-produits de meunerie

Type de co-produit de meunerie	Farine basse (Wheat Middlings)			Remoulage (Wheat Feed)				Son (Wheat Bran)		
Lot de co-produit de meunerie	**WM1**	**WM2**	**WM3**	**WF1**	**WF2**	**WF3**	**WF4**	**WB1**	**WB2**	**WB3**
Composition centésimale de l'aliment expérimental (%)										
Matière première expérimentale	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	84.2	68.5	52.5
Amidon de maïs								5.2	13.0	21.0
Sucre								5.2	13.0	21.0
AMV [(1)]	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Caractérisation analytique de la matière première										
Azote (g/kg MS)	27.5	22.8	25.3	29.6	30.6	28.6	32.7	35.1	25.8	33.3
Matière grasse (g/kg MS)	34.4	29.3	26.7	46.4	32.4	44.8	47.3	40.5	44.5	56.1
Cellulose brute (g/kg MS)	11.5	14.4	19.8	50.9	46.0	60.2	61.4	111.6	98.0	67.2
Matière minérale (g/kg MS)	22.9	14.6	22.1	35.1	37.5	33.5	44.6	59.1	63.2	45.2
NDF (g/kg MS)	67.7	67.3	117.7	208.1	211.4	254.4	279.9	404.8	482.4	315.5
ADF (g/kg MS)	20.6	14.6	25.3	60.0	55.5	70.5	76.3	128.0	135.8	84.1
ADL (g/kg MS)	4.6	3.7	6.3	15.8	14.2	19.4	22.4	44.9	37.5	29.1
NNDF (% N total)	3.2	5.0	5.4	5.6	5.9	7.3	7.8	16.6	21.8	19.2
Amidon (g/kg MS)	630.7	715.6	627.1	437.8	434.6	408.6	314.2	197.0	212.0	299.0
Acides aminés (g/16 g N)										
Somme des acides aminés	85.6	77.0	85.9	82.3	82.3	75.2	80.3	81.2	79.0	72.8
Lysine	3.2	2.8	3.2	3.9	4.1	3.7	4.6	4.5	4.6	3.9
Thréonine	2.9	2.9	2.8	3.3	3.3	3.1	3.3	3.4	3.5	3.1
Méthionine	1.7	1.7	1.7	1.9	1.7	1.6	1.7	1.8	1.7	1.5
Cystine	2.0	1.9	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.8	1.7
Tryptophane	1.1	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.5	1.5	1.3
Alanine	3.7	3.2	4.1	4.5	4.6	4.1	5.1	4.5	4.8	4.4
Arginine	5.3	4.0	5.2	5.9	6.6	5.9	6.7	7.3	7.2	6.1
Acide Aspartique	5.4	4.5	5.6	6.4	6.3	5.8	7.1	7.6	6.9	6.0
Acide glutamique	27.7	25.3	27.7	21.5	21.3	18.3	17.6	17.0	15.9	16.0
Glycine	4.1	3.7	4.3	4.5	4.7	4.4	5.0	4.6	5.2	4.4
Histidine	2.4	2.8	2.2	2.4	2.3	2.6	2.2	2.6	2.9	2.6
Isoleucine	3.8	3.1	3.2	3.5	3.0	2.9	2.9	3.5	3.1	2.9
Leucine	6.6	5.9	6.5	6.1	6.0	5.6	5.8	6.0	5.7	5.4
Phénylalanine	4.4	4.0	4.4	4.1	3.9	3.6	4.0	4.1	3.6	3.5
Sérine	4.7	4.4	4.4	4.6	4.2	4.3	4.0	4.3	4.4	4.1
Tyrosine	2.1	1.9	2.5	2.0	2.5	2.1	2.7	2.4	2.1	1.9
Valine	4.5	3.8	4.7	4.6	4.6	4.1	4.7	4.4	4.3	4.0

AMV [(1)] : ***Voir Tableau 20***

Tableau 16 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Corn gluten feed

Lot de corn gluten feed (Maize gluten feed)	MGF1	MGF2	MGF3	MGF4	MGF5	MGF6	MGF7
Composition centésimale de l'aliment expérimental (%)							
Matière première expérimentale	88.6	85.5	81.3	94.5	84.9	86.4	77.2
Amidon de maïs	3.0	4.5	6.6		4.8	4.1	8.7
Sucre	3.0	4.5	6.6		4.8	4.1	8.7
AMV (1)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Caractérisation analytique de la matière première							
Azote (g/kg MS)	35.0	36.8	39.2	31.8	37.9	34.9	38.4
Matière grasse (g/kg MS)	33.1	22.5	28.2	40.9	21.2	33.5	49.5
Cellulose brute (g/kg MS)	83.2	77.8	92.7	75.0	79.3	93.9	80.6
Matière minérale (g/kg MS)	65.0	55.2	63.3	61.4	54.7	109.5	83.1
NDF (g/kg MS)	388.0	378.0	413.7	389.2	304.4	384.7	366.1
ADF (g/kg MS)	98.4	90.4	105.6	95.0	92.8	133.9	94.0
ADL (g/kg MS)	12.4	7.4	10.9	12.2	8.2	24.4	9.3
NNDF (g/kg MS)	8.0	3.5	6.2	11.0	3.9	7.3	4.1
Amidon (g/kg MS)	256.6	235.6	188.7	355.7	232.4	154.2	202.1
Acides aminés (g/16 g N)							
Somme des acides aminés	74.5	72.4	72.4	76.4	74.3	70.8	71.8
Lysine	3.3	2.6	3.1	3.8	2.9	3.2	2.4
Thréonine	3.4	3.1	3.3	3.4	3.3	3.2	3.4
Méthionine	1.8	1.6	1.8	1.9	1.7	1.5	1.7
Cystine	1.8	2.1	1.8	1.5	2.0	1.6	2.0
Tryptophane	0.8	0.6	0.7	1.0	0.5	0.7	0.4
Alanine	6.4	7.1	5.8	6.0	6.1	5.1	7.2
Arginine	4.5	4.5	5.3	5.6	4.7	5.2	3.0
Acide Aspartique	5.6	4.8	5.7	6.5	4.9	6.0	4.8
Acide glutamique	13.7	14.4	13.3	13.3	15.0	14.2	14.2
Glycine	4.4	3.9	4.2	4.7	3.8	4.0	3.7
Histidine	2.8	2.7	2.8	2.7	2.6	2.7	3.2
Isoleucine	3.1	2.9	2.9	3.3	3.0	3.1	2.8
Leucine	8.1	8.6	7.3	7.5	8.8	6.8	9.1
Phénylalanine	3.7	3.2	3.3	3.8	3.7	3.3	3.4
Sérine	4.2	4.0	4.1	4.3	4.2	3.9	4.1
Tyrosine	2.3	2.3	2.5	2.2	2.8	2.2	2.2
Valine	4.5	4.1	4.5	4.7	4.2	4.1	4.2

AMV (1) : ***Voir Tableau 20***

Tableau 17 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Tourteau de colza

Lot de tourteau de colza (Rapeseed meal)	RSM1	RSM2	RSM3	RSM4
Composition centésimale de l'aliment expérimental (%)				
Matière première expérimentale	49.8	52.3	51.8	48.4
Amidon de maïs	22.4	21.1	21.4	23.1
Sucre	22.4	21.1	21.4	23.1
AMV [(1)]	5.5	5.5	5.5	5.5
Caractérisation analytique de la matière première				
Azote (g/kg MS)	62.3	63.1	58.9	66.0
Matière grasse (g/kg MS)	37.9	22.9	79.6	22.2
Cellulose brute (g/kg MS)	108.0	117.8	138.7	127.8
Matière minérale (g/kg MS)	79.3	83.5	75.3	102.2
NDF (g/kg MS)	300.0	316.0	309.7	383.3
ADF (g/kg MS)	202.3	205.0	223.7	254.4
ADL (g/kg MS)	86.2	85.0	109.7	114.4
Acides aminés (g/16 g N)				
Somme des acides aminés	79.4	75.1	81.2	74.0
Lysine	5.4	5.2	5.3	3.9
Thréonine	4.1	3.9	4.3	3.8
Méthionine	2.2	2.0	2.2	2.0
Cystine	2.2	2.0	1.8	2.2
Tryptophane	1.2	1.2	1.3	1.2
Alanine	4.1	4.1	4.2	3.9
Arginine	5.9	5.1	5.9	5.3
Acide Aspartique	6.5	6.6	7.1	5.8
Acide glutamique	15.4	14.5	15.4	15.8
Glycine	4.7	4.4	4.9	4.4
Histidine	2.5	2.4	2.5	2.4
Isoleucine	3.9	3.5	4.1	3.7
Leucine	6.3	5.9	6.5	6.0
Phénylalanine	3.8	3.5	4.0	3.5
Sérine	4.2	4.0	4.3	3.9
Tyrosine	2.4	2.2	2.6	2.0
Valine	4.7	4.4	5.0	4.5

AMV [(1)] : ***Voir Tableau 20***

Tableau 18 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Tourteau de tournesol

Lot de tourteau de tournesol (Sunflower meal)	SFM1	SFM2	SFM3	SFM4
Composition centésimale de l'aliment expérimental (%)				
Matière première expérimentale	63.7	50.2	48.2	47.2
Amidon de maïs	15.4	22.2	23.2	23.7
Sucre	15.4	22.2	23.2	23.7
AMV (1)	5.5	5.5	5.5	5.5
Caractérisation analytique de la matière première				
Azote (g/kg MS)	47.3	57.9	60.3	62.5
Matière grasse (g/kg MS)	28.4	12.2	23.5	11.5
Cellulose brute (g/kg MS)	358.0	271.8	250.3	198.3
Matière minérale (g/kg MS)	68.2	81.8	73.7	76.6
NDF (g/kg MS)	495.5	401.1	387.7	323.7
ADF (g/kg MS)	385.2	290.6	290.5	211.7
ADL (g/kg MS)	109.1	76.2	73.7	63.2
Acides aminés (g/16 g N)				
Somme des acides aminés	94.5	79.9	79.8	80.0
Lysine	3.9	3.2	3.3	3.3
Thréonine	4.2	3.6	3.4	3.3
Méthionine	2.7	2.3	2.2	2.1
Cystine	1.8	1.4	1.4	1.5
Tryptophane	1.3	1.3	1.3	1.2
Alanine	4.7	4.1	3.7	4.0
Arginine	8.1	7.9	8.2	6.7
Acide Aspartique	9.6	5.4	7.9	8.6
Acide glutamique	21.0	18.2	17.6	18.3
Glycine	6.3	5.5	5.2	5.1
Histidine	2.6	2.4	2.6	2.3
Isoleucine	4.7	4.1	3.6	3.5
Leucine	6.7	5.8	5.5	5.7
Phénylalanine	4.8	4.3	3.8	4.0
Sérine	4.9	4.2	4.1	4.1
Tyrosine	2.0	1.6	1.7	2.0
Valine	5.4	4.6	4.2	4.3

AMV (1) : ***Voir Tableau 20***

Tableau 19 : Composition centésimale des aliments expérimentaux et caractéristiques analytiques des matières premières – Tourteau de soja

Lot de tourteau de soja (Soyabean meal)	SBM1	SBM2	SBM3	SBM4	SBM5	SBM6	SBM7	SBM8	SBM9
Composition centésimale de l'aliment expérimental (%)									
Matière première expérimentale	37.6	41.1	38.1	43.0	31.8	36.2	33.0	36.5	32.7
Amidon de maïs	28.5	26.7	28.2	25.8	31.4	29.2	30.8	29.0	30.9
Sucre	28.5	26.7	28.2	25.8	31.4	29.2	30.8	29.0	30.9
AMV [(1)]	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Caractérisation analytique de la matière première									
Azote (g/kg MS)	76.5	74.2	80.2	80.2	83.1	82.3	85.0	84.9	86.5
Matière grasse (g/kg MS)	15.0	25.2	22.4	15.0	22.9	22.1	29.5	27.6	18.2
Cellulose brute (g/kg MS)	66.5	80.2	70.3	83.1	52.6	47.3	38.0	35.7	35.6
Matière minérale (g/kg MS)	64.7	76.7	72.7	76.2	76.7	72.8	82.7	85.2	81.2
NDF (g/kg MS)	149.7	152.7	149.1	151.3	125.9	108.0	86.5	76.8	118.0
ADF (g/kg MS)	79.7	94.3	76.5	109.7	69.8	47.7	46.4	39.1	48.3
ADL (g/kg MS)	9.6	8.4	3.8	5.8	5.7	3.9	7.4	5.6	5.5
Activité antitrypsique (UTI/mg MS)	-	3.0	3.3	3.9	4.8	2.7	3.8	3.0	3.0
Acides aminés (g/16 g N)									
Somme des acides aminés	88.6	85.0	89.5	93.8	94.7	86.8	88.1	88.6	87.6
Lysine	5.7	5.8	5.9	6.2	6.2	6.0	6.0	6.0	5.8
Thréonine	3.5	3.7	3.9	4.0	4.1	3.7	3.8	3.7	3.6
Méthionine	1.3	1.3	1.8	1.5	1.5	1.3	1.3	1.5	1.4
Cystine	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3
Tryptophane	1.3	1.3	1.4	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Alanine	4.4	3.9	4.1	4.5	4.3	3.9	3.9	4.0	3.9
Arginine	7.0	7.3	7.1	7.5	7.6	7.2	7.8	7.5	7.5
Acide Aspartique	11.2	10.1	10.4	11.4	11.5	10.6	10.7	10.7	10.5
Acide glutamique	17.4	15.8	17.1	17.9	18.4	16.8	16.8	17.0	17.1
Glycine	3.9	3.8	4.0	4.2	4.1	3.9	3.9	3.9	3.8
Histidine	2.5	2.7	2.5	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.5
Isoleucine	4.2	4.2	4.6	4.9	4.9	4.4	4.3	4.4	4.5
Leucine	7.2	6.8	7.1	7.5	7.6	6.4	7.0	7.0	7.0
Phénylalanine	4.7	4.7	5.0	5.2	5.3	4.5	4.4	4.7	4.9
Sérine	4.8	4.9	5.2	5.3	5.5	5.2	5.1	4.9	5.0
Tyrosine	3.4	3.2	3.3	3.5	3.4	3.4	3.1	3.3	3.1
Valine	4.5	4.2	4.6	4.9	4.9	4.3	4.3	4.4	4.4

AMV [(1)] : ***Voir Tableau 20***

Tableau 20 : Composition centésimale de l'aliment minéral et vitaminique (AMV) incorporé dans les aliments expérimentaux

Elément	Ingrédient et principe actif (% ou UI/mg)		Incorporation dans le mélange (%)	/kg aliment
Mg	Chlorure de magnésium hexahydraté	$MgCl_2$, $6H_2O$	0.550	36 mg
K	Chlorure de potassium	KCl	0.550	159 mg
Na	Chlorure de sodium	NaCl	15.340	3324 mg
Na	Bicarbonate de sodium	$NaHCO_3$	40.000	6028 mg
P	Phosphate bicalcique anhydre	$CaHPO_4$	17.360	2177 mg
Ca	Carbonate de calcium	$CaCO_3$	19.725	4340 mg
Fe	Sulfate ferreux septahydraté	$FeSO_4$, $7H_2O$	0.930	92 mg
Zn	Sulfate de zinc monohydraté	$ZnSO_4$, $1H_2O$	0.550	106 mg
Cu	Sulfate de cuivre pentahydraté	$CuSO_4$, $5H_2O$	0.145	20 mg
Mn	Sulfate manganeux monohydraté	$MnSO_4$, $1H_2O$	0.220	39 mg
Co	Carbonate de cobalt	$CoCO_3$	0.009	2.2 mg
I	Iodate de calcium	$Ca(IO_3)_2$	0.003	1.0 mg
Vit. A	Vitamine A (500 UI/mg)		0.100	27500 UI
Vit. D3	Vitamine D3 (500 UI/mg)		0.008	2200 UI
Vit. E	Vitamine E (50 UI/mg)		0.148	4070 UI
Vit. K3	Vitamine K3		0.038	21 mg
Vit. B1	Vitamine B1		0.011	6 mg
Vit. B2	Vitamine B2		0.026	14 mg
Vit. B6	Vitamine B6		0.024	13 mg
Vit. PP	Vitamine PP		0.093	51 mg
Vit. C	Vitamine C		0.145	80 mg
Acide folique	Acide folique		0.002	1.1 mg
Vit. B12	Vitamine B12		0.128	70 mg
Biotine	Biotine (2%)		0.003	0.033 mg
Vit. B3	Vitamine B3		0.055	30 mg
Choline	Choline (50%)		2.922	804 mg
Carbadox	Carbadox (10%)		0.915	50 mg

II - Facteurs de variation de l'excrétion azotée endogène basale - Conséquences pour le calcul de la digestibilité iléale vraie

Résumé

Le but de ce chapitre est d'évaluer la pertinence de l'usage d'une valeur fixe d'excrétion azotée endogène basale, indépendante de l'animal et de son stade physiologique, pour le calcul de la digestibilité iléale vraie. Trois groupes de 4 animaux ont été préparés en anastomose iléo-rectale termino-terminale au poids vif de 25 kg. Ils ont reçu un aliment protéiprive composé d'amidon de maïs, de sucre, de cellulose de papier, d'huile et d'un aliment minéral et vitaminique (58.0, 30.0, 3.5, 3.0 et 5.5%, respectivement) à deux stades. Le poids des animaux au moment de la mesure se situe, selon le goupe, entre 40 et 70 kg, pour le premier stade, et 89 et 107 kg pour le second. L'excrétion endogène basale d'azote est en moyenne de 1.14 g/kg matière sèche ingérée (MSI), les valeurs extrêmes variant du simple au double (0.77 à 1.54 g/kg MSI). Le premier facteur de variation de l'excrétion azotée endogène est la quantité de matière sèche ingérée. En particulier l'excrétion endogène d'azote (g/j) augmente de façon linéaire avec la quantité de MSI (g/j) sans ordonnée à l'origine. Aucun effet significatif du groupe d'animaux, du stade (poids vif ou âge de l'anastomose) ou de l'animal n'a été mis en évidence sur l'excrétion azotée endogène (g/kg MSI). Le principal facteur de variation du profil de la protéine endogène est l'animal. Cependant, avec le vieillissement de l'animal ou de l'anastomose ou l'augmentation du poids de l'animal, la protéine endogène semble s'enrichir en protéines bactériennes ou en mucus. En dépit de cet effet animal prédominant, la prise en compte de l'excrétion endogène basale individuelle plutôt qu'une valeur d'excrétion endogène basale moyenne, fonction uniquement de la quantité de matière sèche ingérée, ne modifie pas la valeur de digestibilité vraie des matières premières. De plus, les deux systèmes aboutissent au même classement des lots de matières premières entre eux et à des valeurs d'écart type résiduel équivalents.

Mots clés : acide aminé, porc, digestibilité iléale, excrétion endogène

II - Facteurs de variation de l'excrétion azotée endogène basale - Conséquences pour le calcul de la digestibilité iléale vraie

A - MATERIEL ET METHODES – DISPOSITIONS EXPERIMENTALES PARTICULIERES

A.1 - Animaux

Les animaux sont tous de type Large White, préparés en anastomose iléo-rectale termino terminale comme spécifié ***Partie II.I - B.1 - (p 57)***. L'excrétion azotée endogène basale a été estimée sur 13 animaux numérotés de a1 à a13. Ces animaux sont issus de 3 groupes distincts appelés A, B et C. Afin de tester l'éventuel effet du stade des animaux, correspondant à leur âge et/ou à leur poids et/ou à l'âge de l'anastomose, deux mesures distinctes d'excrétion azotée endogène basale ont été effectuées sur chacun d'eux : la première correspond au stade de l'animal au début de sa période expérimentale (stade 1), la seconde à son stade à la fin (stade 2). Toutefois, l'animal a12 (groupe C) a refusé de consommer l'aliment protéiprive au second stade, si bien que seule la valeur d'excrétion azotée endogène basale au stade 1 est disponible. Cet animal a été remplacé par l'animal a13 pour lequel nous ne disposons de la valeur qu'au stade 2. Par ailleurs, pour les animaux du groupe B (a5, a6, a7 et a8), seule la valeur d'excrétion azotée endogène au stade 2 est disponible en raison de la défectuosité d'un appareil de conservation des échantillons au froid, lors de la mesure effectuée au stade 1. La répartition des animaux au sein des groupes, ainsi que, pour chacun d'eux et pour chacun des deux stades, le poids estimé au moment de la collecte des digesta et l'âge de l'anastomose sont donnés au ***Tableau 21 (p 97)***.

A.2 - Aliment expérimental et quantité d'aliment distribuée

L'aliment protéiprive est constitué de matières premières dépourvues de protéines (amidon de maïs, sucre, cellulose, huile). Sa composition centésimale est donnée au ***Tableau 8 (p 69***).

Les animaux ont reçu une quantité quotidienne d'aliment correspondant à 110 g/kg PV^{075}. Cette quantité d'aliment distribuée a été fixée en fonction d'expériences antérieures, menées dans notre laboratoire, et ayant montré une grande variabilité du niveau de consommation de ce type d'aliment.

A.3 - Traitement statistique des données

A.3.1 - Facteurs de variation de l'excrétion azotée endogène basale d'azote et d'acides aminés (g/kg MSI)

Dans ce chapitre, l'excrétion azotée endogène basale est, de façon classique, exprimée sur la base de la quantité de matière sèche ingérée.

L'objectif de ce travail est de déterminer les éventuels effets du groupe d'animaux, de l'animal, du stade et de la quantité de matière sèche ingérée sur la quantité d'azote et d'acides aminés d'origine endogène excrétée. Deux études successives ont été menées, avec pour objectif de :

1. vérifier que l'excrétion azotée endogène basale (g/j) est bien proportionnelle à la quantité de matière sèche ingérée
2. étudier les effets du stade, du groupe d'animaux et de l'animal sur l'excrétion azotée endogène basale (g/kg MSI)

A.3.1.1 - Régression linéaire : prédiction du niveau d'excrétion azotée endogène

En première approche, ni l'effet du groupe d'animaux, ni de l'effet de animal n'ont été pris en compte : les 20 observations ont été considérées comme indépendantes. Deux modèles de régression linéaire ont été testés :

Modèle 1 :

- variable à expliquer : Quantité de matière sèche (MS), d'azote (N) ou de chacun des acides aminés (AA) excrétée après l'ingestion de l'aliment protéiprive (g/j)
- variables explicatives :
  - Quantité de matière sèche ingérée (MSI en kg/j)
  - Poids métabolique de l'animal ($PV^{0.75}$ en kg)

Modèle 2 :

- variables à expliquer : Quantité de matière sèche (MS), d'azote (N) ou de chacun des acides aminés excrétée après l'ingestion de l'aliment protéiprive (mg/kg $PV^{0.75}$)
- variable explicative : Niveau alimentaire (NA en g MSI/ kg $PV^{0.75}$)

A.3.1.2 - Analyse de variance : effets du stade, du groupe d'animaux et de l'animal sur l'excrétion azotée endogène basale (g/kg MSI)

Une analyse de variance, destinée à évaluer l'effet du stade ainsi que l'effet du groupe d'animaux, par rapport à l'effet animal intra-groupe, sur l'excrétion azotée endogène basale a été menée selon un modèle hiérarchique. Compte tenu de la disparité, entre groupes d'animaux, des poids des animaux et de l'âge de l'anastomose correspondant à un stade donné, nous avons testé l'effet du stade en introduisant les covariables poids vif (PV, en kg) ou âge de l'anastomose (O, en semaines écoulées après l'opération).

Le modèle comprend les termes suivants : le poids vif (PV) ou âge de l'anastomose (O), le groupe (G), et l'animal au sein du groupe (A(G)). L'effet du groupe a été testé contre l'erreur résiduelle entre animaux au sein du groupe, alors que l'effet de l'animal et celui de la covariable ont été testés contre l'erreur résiduelle. Préalablement à cette analyse globale, nous avons vérifié, pour les groupes A et C, l'absence d'interaction animal x stade par une analyse de variance selon un dispositif en bloc, chacun des blocs correspondant à un animal, et à un facteur étudié, chacun des deux niveaux du facteur correspondant à un stade. Un test de Tukey a permis de vérifier l'absence d'interaction animal x stade, c'est pourquoi nous n'avons pas introduit ce terme dans le modèle. De même, compte tenu de l'absence du stade 2 pour le groupe d'animaux B, nous n'avons pas introduit l'interaction GxS dans le modèle.

Lorsque ce test conclut à un effet significatif du groupe d'animaux, on peut suspecter une contribution du groupe indépendante de celle de l'animal (effets préparation chirurgicale, manipulation des animaux, collecte et traitement des échantillons, dosages...), ou encore due à l'échantillonnage effectué dans la population des animaux pour constituer le groupe.

A.3.2 - Facteurs de variation du profil de la protéine endogène basale

Dans ce chapitre, l'excrétion endogène basale de chacun des acides aminés est exprimée en pourcentage de l'excrétion totale d'acides aminés.

Ce travail a pour objet de :

1. étudier les effets de l'animal, du stade et du groupe d'animaux sur le profil de la protéine endogène basale
2. comparer le profil de la protéine excrétée après l'ingestion de l'aliment protéiprive à celui de protéines dites de référence afin d'estimer quelles sont les fractions constitutives des digesta, en particulier les fractions d'origine endogène et les fractions d'origine bactérienne.

A.3.2.1 - Analyse de variance : effets du stade, du groupe d'animaux et de l'animal sur le profil de la protéine endogène

Une analyse de variance a été menée selon le modèle hiérarchique décrit au ***§ A.3.1.2 - (p 83).*** Comme précédemment, l'absence d'interaction animal x stade a été vérifiée pour les groupes d'animaux A et C.

A.3.2.2 - Estimation des fractions constitutives des digesta

Le profil de la protéine endogène a été comparé au profil des protéines de référence et à celui d'autres protéines excrétées après l'ingestion d'un aliment protéiprive selon les méthodes décrites ***Partie II.I - C.2 - (p 61)*** : calcul de la distance du χ^2 , régression linéaire multiple et analyse factorielle des correspondances.

Les protéines de référence auxquelles ont été comparés les digesta sont :

- des protéines endogènes purifiées : suc pancréatique de porc (Corring et Jung, 1972), mucus moyen de l'intestin grêle de porc (Darcy-Vrillon et Calmes, non publié), muqueuse jéjunale de porc (Rérat, non publié), méconium de porc nouveau né (Laplace et al., 1985), fèces de porc axénique (Laplace et al., 1985)
- des protéines bactériennes : bactéries de fèces de porc consommant un régime standard (Laplace et al., 1985), bactéries de jus iléaux de porc consommant un régime standard (Dugan et al., 1994), Escherichia Coli (Laplace et al., 1985), Azote fécal métabolique (Mason et al., 1976). Leur profil est donné au ***Tableau 26 (p 101).***

B - RESULTATS

Les animaux ont reçu une quantité d'aliment importante et on pouvait s'attendre à une augmentation de la quantité d'aliment ingérée avec le poids des animaux. En réalité, plus le poids métabolique des animaux augmente (kg $PV^{0.75}$), plus le niveau alimentaire (g MSI/kg PV^{075}) est faible (r=-0.90, P<0.001***) (Tableau 21 p 97, Figure 13 p 97)*** et le coefficient de corrélation entre la quantité d'aliment ingérée (MSI, g/j) et le poids des animaux n'est pas significatif (r=0.22, NS).

B.1 - Excrétion azotée endogène basale (g/kg MSI)

Les valeurs individuelles d'excrétion de matière sèche, d'azote et d'acides aminés des animaux alimentés avec l'aliment protéiprive sont données au ***Tableau 22 (p 98)***. La quantité d'azote d'origine endogène excrétée varie du simple au double selon l'observation (0.77 à 1.54 g/kg MSI).

B.1.1 - Prédiction de l'excrétion azotée endogène basale

B.1.1.1 - Prédiction de l'excrétion azotée endogène basale (g/j) en fonction de la quantité de matière sèche ingérée (kg/j) et du poids métabolique de l'animal (kg $PV^{0.75}$) (Modèle n°1)

La variable $PV^{0.75}$ n'entre jamais dans les équations. Ce premier modèle ne donne aucun résultat significatif, excepté pour la matière sèche et l'azote. Pour aucune de ces deux variables, l'ordonnée à l'origine ne diffère significativement de 0. Les équations, peu satisfaisantes en termes de prédiction, sont les suivantes :

- MS (g/j) = 66.3 (±2.0) MSI (kg/j)

etr=17.8 (g/j), P<0.001

N (g/j) = 1.14 (± 0.04) MSI (kg/j)

etr = 0.38 (g/j), P<0.05

B.1.1.2 - Prédiction de l'excrétion azotée endogène (mg/kg $PV^{0.75}$) en fonction du niveau alimentaire (g MSI/kg $PV^{0.75}$) (Modèle n°2)

La variable NA (niveau alimentaire) entre significativement (P<0.05) dans toutes les équations sauf pour la méthionine et la tyrosine. Pour aucun des acides aminés, l'ordonnée à

l'origine ne diffère significativement de 0. Le modèle avec ordonnée à l'origine nulle donne les résultats présentés au ***Tableau 23 (p 99).*** Les coefficients de détermination obtenus sont assez faibles, de 0.7 pour l'azote à 0.2 pour la phénylalanine ou la valine. Pour la plupart des acides aminés, le coefficient de variation résiduelle se situe entre 20 et 25%. Sa valeur ne dépasse pas 16-18% pour l'azote, la cystine et le tryptophane, mais il atteint 27.2, 30.9 et 38.6% respectivement pour la thréonine, la phénylalanine et la glycine. Cependant, cette linéarité et la nullité de l'ordonnée à l'origine siuggèrent que l'excrétion endogène de matière sèche, de l'azote et de la plupart des acides aminés est une constante, exprimée sur la base de la matière sèche ingérée. Le coefficient de régression serait alors la valeur à prendre en compte pour l'excrétion azotée endogène (exprimée en g/kg MSI).

B.1.2 - Effets du stade, du groupe d'animaux et de l'animal sur l'excrétion azotée endogène basale (g/kg MSI)

Les résultats de l'analyse de variance sont présentés au ***Tableau 24 (p 100).*** Que le poids vif ou l'âge de l'anastomose soient pris en compte pour évaluer l'effet du stade, la part de la variabilité totale expliquée par le modèle est la globalement la même : elle se situe entre 68 et 81% de la variabilité totale pour l'azote et les acides aminés et atteint 83% pour la matière sèche. De plus, les deux covariables conduisent aux mêmes résultats quant aux effets du stade, du groupe d'animaux et de l'animal intra-groupe.

Aucun effet significatif du stade n'est mis en évidence. Toutefois les niveaux d'excrétion endogène basale de méthionine et de tyrosine ont tendance à augmenter avec le poids vif ou l'âge de l'anastomose : respectivement de 0.83 (P=0.06) et 1.05 (P=0.08) mg/kg MSI par kg de poids vif supplémentaire et de 1.90 (P=0.09) et 2.45 (P=0.11) mg/kg MSI par semaine supplémentaire.

On ne détecte aucun effet du groupe d'animaux sur l'excrétion azotée endogène basale. Toutefois, les animaux du groupe B tendent (P=0.07) à excréter plus de matière sèche (g/kg MSI) que les animaux des autres groupes.

Aucun effet significatif de l'animal n'est détecté.

B.2 - Profil de la protéine endogène basale

Le profil de la protéine endogène excrétée par chacun des animaux est présenté au ***Tableau 22 (p 98)***. Les acides aminés les plus abondants dans la protéine endogène sont l'acide glutamique, l'acide aspartique et la glycine. Dans une moindre mesure, la lysine, la thréonine, l'alanine, la leucine, la sérine et la valine y sont en proportion assez importante. A l'inverse, le tryptophane, la méthionine, la cystine et l'histidine sont les acides aminés les moins abondants.

B.2.1 - Effets du stade, du groupe d'animaux et de l'animal intra groupe sur le profil de la protéine endogène

Les résultats de l'analyse de variance sont présentés au ***Tableau 25 (p 100).*** Dans l'ensemble la part de la variabilité totale expliquée par le modèle est la même, que le poids vif ou l'âge de l'anastomose soient le critère pris en compte pour évaluer l'effet du stade. Elle se situe entre 87% pour l'histidine et 98% pour l'acide glutamique. De plus, les deux covariables conduisent globalement aux mêmes résultats quant aux effets du stade, du groupe d'animaux et de l'animal intra-groupe.

La protéine endogène s'enrichit significativement (P<0.05) en méthionine, acide aspartique, phénylalanine et tyrosine et a tendance à s'enrichir (P<0.10) en arginine et acide glutamique lorsque l'animal croît ou

l'anastomose vieillit. Au contraire, les proportions de cystine et de glycine diminuent significativement (P<0.05) avec l'augmentation du poids de l'animal ou le vieillissement de l'anastomose. De plus, la protéine endogène s'appauvrit en sérine (P<0.05) et en tryptophane (P=0.07) et, au contraire, s'enrichit en isoleucine (P=0.07) lorsque le poids de l'animal augmente. Elle s'appauvrit en thréonine (P<0.05) lorsque l'âge de l'anastomose augmente. Les teneurs en méthionine, acide aspartique, phénylalanine, tyrosine, arginine et acide glutamique augmentent respectivement de 0.011 ; 0.026 ; 0.009 ; 0.013 ; 0.011 et 0.009 points par kg de poids vif et de 0.027 ; 0.064 ; 0.024 ; 0.033 ; 0.022 ; 0.022 points par semaine ; au contraire les proportions de cystine et de glycine diminuent respectivement de 0.010 et 0.039 points par kg de poids vif et de 0.025 et 0.100 points par semaine.

Les deux modèles mettent en évidence un effet hautement significatif (P<0.01) du groupe d'animaux sur le profil de la protéine endogène pour le tryptophane et la valine. L'effet du groupe apparaît en tendance pour la lysine (P=0.07), la cystine (P=0.06), l'arginine (P=0.08) et l'histidine (P=0.05) lorsque le poids vif et pris comme covariable et pour la lysine (P=0.07), la cystine (P=0.10) et l'arginine (P=0.08) lorsque l'âge de l'anastomose est pris comme covariable.

Pour les deux covariables, on détecte un effet significatif de l'animal sur les teneurs de la protéine endogène en thréonine, méthionine, acide glutamique, glycine, isoleucine, leucine, phénylalanine, sérine et tyrosine. Cet effet apparaît en tendance (P<0.10) pour l'alanine, l'arginine et l'acide aspartique.

B.2.2 - Estimation des fractions constitutives des digesta

B.2.2.1 - Distance du χ^2

La distance du χ^2 entre le profil des digesta et celui des protéines de référence est présenté au ***Tableau 27 (p 102).*** Quelle que soit l'observation, les distances calculées avec le suc pancréatique de porc (SUCP), les fèces de proc axénique (FPAX) et les bactéries iléales (BI) sont parmi les plus élevées ($79<\chi^2<344$, $113<\chi^2<223$ et $101<\chi^2<504$, respectivement). Les résultats obtenus sont cependant variables d'une observation à l'autre : hormis l'animal a8 (Groupe B, stade 2), les observations peuvent être classées en 4 catégories ***(Tableau 28, p 102)***.

- Les premières, pour lesquelles le profil des digesta est proche de celui du méconium **(MECO)** ($39<\chi^2<85$)
- Les secondes, pour lesquelles le profil des digesta se rapproche à la fois de celui du méconium et de celui de l'azote fécal métabolique **(MECO et NFEC2)** ($64<\chi^2<85$ et $47<\chi^2<89$, respectivement).
- Les troisièmes, pour lesquelles le profil des digesta se rapproche à la fois de celui du méconium, de celui de l'azote fécal métabolique et de celui des protéines de muqueuses et de mucus **(MECO, MUQ, MUC, NFEC2)** ($65<\chi^2<71$, $53<\chi^2<79$, $46<\chi^2<91$ et $58<\chi^2<65$, respectivement).
- Les quatrièmes pour lesquelles le profil des digesta est proche à la fois de celui des protéines de muqueuse et de mucus, de celui d'Escherichia coli et de celui de l'azote fécal métabolique **(MUQ, MUC, COLI et NFEC2)** ($49<\chi^2<87$, $24<\chi^2<56$, $41<\chi^2<83$ et $15<\chi^2<50$, respectivement).

- Le profil des digesta recueillis à partir de l'animal a8 (B2) n'est proche d'aucun de ceux des protéines de référence.

Il est notable que, quel que soit l'animal, la distance du χ^2 calculée entre le profil de la protéine excrétée après l'ingestion de l'aliment protéiprive et celui de NFC2 ou de COLI diminue du stade 1 au stade 2. Excepté pour l'animal a2 (groupe A), la même tendance existe lorsque la distance est calculée avec les protéines de muqueuse (MUQ) et de mucus (MUC). En revanche, excepté pour l'animal a10 (groupe C), la distance du χ^2 entre le profil de la protéine excrétée par les animaux est celui de MECO augmente du stade 1 au stade 2.

B.2.2.2 - Régression linéaire multiple

Dans l'ensemble, les données obtenues sont à manipuler avec précaution compte tenu des larges écarts types dont sont assortis les coefficients de régression ***(Tableau 29, p 103).*** Toutefois, la somme des coefficients de régression est toujours proche de 1.

Les meilleurs prédicteurs obtenus sont MECO associé à NFEC2, MECO associé à BFST, MUQJ associé à NFEC2 et MUCM associé à NFEC2. Quelle que soit l'observation, MECO, soit seul, soit associé à NFEC2, soit encore associé à BFST, décrit de façon satisfaisante le profil de la protéine excrétée après l'ingestion d'un aliment protéiprive. De façon générale, les équations sont légèrement plus précises (χ^2 légèrement plus faible) lorsque la variable NFEC2 plutôt que la variable BFST est introduite dans le modèle ($9<\chi^2<39$ et $15<\chi^2<56$, respectivement). Par ailleurs, bien que légèrement supérieurs lorsque la variable BFST est introduite dans le modèle, les coefficients affectés à MECO sont du même ordre de grandeur dans les deux cas.

Les observations peuvent être classées selon différentes catégories :

- Les observations pour lesquelles aucune variable autre que MECO, NFEC2 ou BFST n'entre dans les équations. Il s'agit des observations classées dans la catégorie n°1 (profil proche de celui de MECO) et la catégorie n°2 (profil proche de celui de MECO et de celui de NFEC2) dans le § précédent ***(Tableau 28, p 102)***, auquel s'ajoute l'animal a8 (groupe B, stade 2). Dans les équations faisant intervenir MECO et NFEC2, le coefficient affecté à NFEC2 varie de 0 à 0.350, pour les observations appartenant à la catégorie n°1 et de 0.450 à 0.567, pour les observations appartenant à la catégorie n°2.
- Les observations pour lesquelles les variables MUQJ et MUCM, associées à NFEC2 entrent significativement dans les équations mais aboutissent à des résultats moins satisfaisants (χ^2 supérieur) que l'association de MECO à NFEC2 ou à BFST. Il s'agit des observations classées dans la catégorie n° 3 (profil proche de celui de MECO, NFEC2, MUQ et MUC) dans le § précédent ***(***Tableau 28***, p 102)***. Dans les trois types d'équations, le coefficient affecté à NFEC2 est du même ordre de grandeur (0.524 à 0.531, 0.512 à 0.574 et 0.494 à 0.589 lorsque NFEC2 est associé à MECO, MUQJ et MUCM, respectivement).
- Les observations pour lesquelles l'introduction de MUQJ ou MUCM au lieu de MECO, associés à NFEC2, conduisent à une amélioration (χ^2 inférieur) des équations. Il s'agit des observations classées dans la catégorie n°4 (profil proche de NFEC2, MUQ, MUC et COLI) dans le § précédent ***(Tableau 28, p 102)***. Le coefficient affecté à NFEC2 est légèrement plus élevé lorsque MECO, plutôt que MUQJ ou MUCM, est introduit dans l'équation (0.603 à

0.880, 0.483 à 0.759 et 0.585 à 0.687, respectivement).

Il est notable que ces quatre catégories se distinguent en partie par le coefficient affecté à NFEC2 dans les équations de régression, croissant de la catégorie n°1 à la catégorie n°4. Par ailleurs, quel que soit l'animal, ce coefficient tend à augmenter du stade 1 au stade 2, quelle que soit la variable à laquelle NFEC2 est associée.

B.2.2.3 - Analyse factorielle des correspondances

La représentation des points sur le plan de projection défini par les axes 1 et 4 apparaît ***Figure 15 (p 105).*** Le premier axe explique 40.4% de la variance totale, le second 26.2%, le troisième 13.1% et le quatrième 8.0%. Sur le premier axe sont opposées d'une part les protéines microbiennes (bactéries de fèces de porcs : BFST, BFSY ; Escherichia Coli : COLI ; bactérie iléale : BI), riches en leucine, phénylalanine et isoleucine et d'autre part le méconium de porcelet (MECO), riche en glycine et les fèces de porc axénique (FPAX) riches thréonine et cystine. Le second axe est caractérisé par les protéines de muqueuses duodénales et jéjunales (MUQD et MUQJ) et leur richesse en arginine en lysine. Sur l'axe 4 sont représentés, d'une part, les protéines de mucus (MUCM, MUCP) et leur richesse en tyrosine, et, d'autre part l'azote fécal métabolique (NFEC2).

Aucune de nos observations n'est correctement représentée ni sur le premier plan de projection (axe1/axe2), ni sur le second (axe 1/axe3) ; en effet, pour aucun des points, le cosinus carré de l'angle de projection avec l'axe 2 ou l'axe 3 n'excède 0.3. En revanche, le cosinus carré de l'angle de projection des points sur les axes 1 et 4 est supérieur à 0.5 dans la plupart des cas, ce qui nous a incité à travailler sur le plan de projection défini par ces deux axes, en dépit de la moindre part de la variance totale expliquée par ce plan (48.4% contre 66.6% pour le premier plan de projection (axe1/axe2)).

Les observations se répartissent sur le plan de projection selon leur proximité avec MECO d'une part et NFEC2 et les protéines de mucus d'autre part. Par rapport au calcul de la distance du χ^2 et le calcul des fractions constitutives des digesta par régression ***(§ B.2.2.1 - et B.2.2.2 -)***, cette analyse factorielle des correspondances met en évidence la répartition des observations selon un continuum plutôt que selon 4 catégories distinctes ***(Tableau 29, p 103 et Tableau 28, p 102)*** On retrouve cependant les observations appartenant à la catégorie n°1, à proximité de MECO et, à l'opposé, les observations appartenant à la catégorie n°4, à proximité des protéines de mucus (MUC) et de NFEC2. Les observations appartenant aux catégories 3 et 4 se trouvent dans une position intermédiaire.

C - DISCUSSION

C.1 - Facteurs de variation de l'excrétion azotée endogène basale (g/kg MSI)

Le fait que la quantité de matière sèche ingérée (g/j) ne permette de prédire l'excrétion quotidienne que pour l'azote et la matière sèche pourrait être lié à sa faible plage de variation. En effet, si le niveau alimentaire varie de 55 à 117 g MSI/kg $PV^{0.75}$, soit une variation de 115% entre les valeurs extrêmes, la quantité de matière sèche ingérée ne varie que de 1597 à 2395 g par jour, soit une variation de 50% seulement entre les valeurs extrêmes.

Nos résultats, et en particulier la valeur nulle de la constante a dans le modèle 2 (AAiE (mg/kg $PV^{0.75}$) = a + b NA (g MSI/kg $PV^{0.75}$)), tendraient à prouver que, pour la plupart des acides

aminés, l'excrétion azotée endogène basale (g/j) est directement proportionnelle à la quantité de matière sèche ingérée (g/j). La similitude des pentes obtenues, pour la matière sèche et l'azote, selon les deux modèles (respectivement 66.3 (±2.0) et 1.14 (± 0.04) pour le modèle 1 et 65.9 (±2.0) et 1.15 (±0.04) pour le modèle 2) tend à appuyer cette conclusion.

Cependant, bien que le mode d'expression de l'excrétion azotée endogène en g/kg MSI soit classique, de nombreux auteurs ont obtenu, pour la plupart des acides aminés, une relation linéaire entre la quantité de matière sèche ingérée et l'excrétion azotée endogène basale, mais avec une ordonnée à l'origine non nulle (Butts et al., 1993 ; Mariscal-Landin et al., 1995 ; Bastianelli, 1996), suggérant la non proportionnalité entre ces deux variables, dans certaines conditions de niveau alimentaire et/ou de poids des animaux (Furuya et Kaji, 1992).

Selon Mariscal-Landin et al. (1995) et Hess et Sève (1999), la linéarité entre la quantité de matière sèche ingérée et l'excrétion azotée endogène (g/j) ne serait plus observée lorsque le niveau alimentaire est inférieur à 70 g/kg $PV^{0.75}$.

Par ailleurs, avec des animaux recevant un aliment contenant de la caséine hydrolysée supposée totalement digestible, Hodgkinson et al. (1997) et Stein (1998) ont observé une diminution de l'excrétion azotée endogène (g/kg MSI) avec l'augmentation du poids des animaux de 40 à 85 kg et de 35 à 95 kg respectivement. Hess et Sève (1999) ont fait la même observation avec des animaux pesant entre 45 et 80 kg et recevant un aliment protéiprive.

Selon ces résultats, et compte tenu de la corrélation négative entre le niveau alimentaire et le poids des animaux dans notre étude, on pourrait suspecter avoir sous-estimé l'excrétion endogène (g/kg MSI) aux niveaux alimentaires qui se situaient en deçà de la limite de 70 g MSI/kg $PV^{0.75}$; ces animaux étaient par ailleurs des animaux lourds (91 à 107 kg) ***(Figure 13, p 97)***. Dans ce cas, à la fois la nullité de l'ordonnée à l'origine dans notre modèle et l'absence d'effet stade sur l'excrétion endogène basale (g/kg MSI) seraient remises en question.

Cependant, l'effet du niveau alimentaire sur l'excrétion azotée endogène (g/kg MSI) semble sensible surtout chez les animaux jeunes et n'est pas observé chez des animaux de plus de 80 kg (Fuller et Cadenhead, 1991, Hess et Sève, 1999). Selon ces résultats, il est probable la corrélation entre le niveau alimentaire et le poids vif dans notre étude ait été de moindre influence. Par ailleurs, selon Stein (1998), l'excrétion azotée endogène (g/kg MSI) n'augmente que chez des animaux de poids vif inférieur à 60 kg pour se stabiliser ensuite, ce qui expliquerait l'absence d'effet du stade dans notre étude puisque seuls 4 observations sur 20 correspondent à des animaux de tel poids, qui par ailleurs ont reçu l'aliment à un niveau alimentaire élevé.

Il semble donc que nous nous soyons placés dans des conditions, en particulier pour le poids des animaux, dans lesquelles ni le niveau alimentaire ni le poids des animaux n'influencent l'excrétion endogène basale de la plupart des acides aminés, ce qui expliquerait nos résultats (ordonnée à l'origine nulle et absence d'effet du poids sur l'excrétion azotée endogène basale de la plupart des acides aminés exprimée en g/kg MSI).

Qu'il s'agisse de la valeur moyenne de nos 20 observations ou du coefficient de corrélation affecté au niveau alimentaire dans notre modèle, les valeurs d'excrétion azotée endogène (g/kg MSI) que nous obtenons sont faibles comparées à celles que relève Bastianelli (1996) dans une

compilation regroupant des références d'excrétion azotée endogène mesurées au moyen d'un aliment protéiprive ***(Tableau 30, p 106)***. Toutefois, elles se trouvent à l'intérieur de la plage de variation (±2 E.T.) de ces données de la littérature. Dans une étude ultérieure, sur 4 animaux pesant entre 42 et 48 kg, recevant un aliment protéiprive de nature légèrement différente, à un niveau alimentaire de 90 g/kg $PV^{0.75}$, nous avons confirmé ce niveau d'excrétion azotée endogène faible (1.154±0.281 g N/kg MSI) (Sève et al., 2000). Aucun élément d'explication n'apparaît donc de façon évidente : ni la composition de l'aliment protéiprive, ni le niveau alimentaire pratiqué, ni le poids des animaux.

C.2 - Facteur de variation du profil de la protéine endogène

Les principales sources de protéine endogène sont la salive, les sécrétions gastriques, les enzymes pancréatiques, les sels biliaires et les sécrétions intestinales (Souffrant, 1991 ; Tamminga et al., 1995). Cependant, comme 70 à 80% des sécrétions endogènes sont hydrolysées et réabsorbées avant la fin de l'iléon (Souffrant et al., 1993), la protéine excrétée correspond aux composants les plus résistants à la protéolyse ou les moins réabsorbés (sels biliaires déconjugués, mucines) (Fuller et Cadenhead, 1991 ; Moughan et Schuttert, 1991). La richesse de la protéine endogène en glycine est donc cohérente avec l'abondance de cet acide aminé dans la bile ; de même, la richesse des mucines en thréonine, sérine et acide aspartique expliquerait l'abondance de ces acides aminés dans la protéine endogène (Souffrant, 1991).

Le profil de la protéine endogène a été comparé, par le calcul de la distance du χ^2, à celui de protéines excrétées par des animaux alimentés à base d'un aliment protéiprive ainsi qu'à des valeurs issues de compilations bibliographiques (Bastianelli, 1996 ; Wünsche et al., 1987) ***(Tableau 31, p 106).*** Le profil moyen que nous obtenons est proche de ceux qui ont été obtenus avec un aliment protéiprive ($20<\chi^2<48$). Il est particulièrement proche de ceux que proposent Lechevestrier (1996) - EPL ($\chi^2=20$), Picard et al. (1984) - EPP1 ($\chi^2=24$) et Auclair (1986) - EPA1 et EPA2 ($\chi^2=27$). Il est également assez proche de résultats de la compilation de Bastianelli (1996) ($\chi^2=41$), mais s'éloigne du profil proposé par Wünsche et al. (1987) ($\chi^2=79$).

Les données individuelles ont également été comparées aux données de la littérature au moyen d'une analyse factorielle des correspondances (***Figure 16, p 107).*** Pour cette analyse, seules les données de littérature contribuent à l'élaboration des axes, nos données étant considérées comme des variables supplémentaires.

Le premier axe explique 75.4% et le second 9.4% de la variance totale, soit un total de 84.8% pour le premier plan de projection. Le premier axe est caractérisé d'une part par les données Wünsche et al. (1987) et de Bastianelli (1996) (EW, EB, EPB, E>60B, E40-60B) et leur richesse relative en glycine et d'autre part par les données de Picard et al. (1984) (EPP1, EPP2), Darcy et al. (1982) (EPD), Auclair (1986) (EPA1 et EPA2) et Lechevestrier (1996) (EPL) et leur richesse relative en lysine, cystine, alanine, acide glutamique, isoleucine, leucine, phénylalanine et valine. L'axe 2 est caractérisé par les données de Auclair (1986) (EPA3, EPA4) et Mariscal-Landin (1992) (EPM), leur richesse relative en thréonine et sérine et leur pauvreté relative en méthionine.

Nos observations se répartissent sur le premier axe selon un gradient de richesse en glycine. Il

est notable que nos observations, obtenues dans un même laboratoire, selon une méthodologie commune, montrent une variabilité équivalente à celle d'une compilation bibliographique faisant intervenir des méthodologies diverses : la variabilité liée à l'animal que nous détectons dans notre propre laboratoire serait alors aussi large que la variabilité inter laboratoire décrite dans la littérature (Wünsche et al., 1987, Bastianelli, 1996).

C.2.1 - Effets du stade, du groupe d'animaux et de l'animal

Nous observons un effet du stade et un effet de l'animal sur le profil de la protéine endogène. Le profil de la protéine endogène s'enrichit en méthionine, arginine, acide aspartique, acide glutamique, isoleucine, phénylalanine et tyrosine, alors qu'il s'appauvrit en thréonine, cystine, glycine et sérine avec la croissance de l'animal ou le vieillissement de l'anastomose. Excepté pour la cystine, pour laquelle aucun effet de l'animal n'est détecté, et l'alanine et la leucine pour lesquelles aucun effet du stade n'est relevé, l'effet de l'animal porte sur les mêmes acides aminés que l'effet du stade, et va dans le même sens : lorsque le profil de la protéine endogène est riche en glycine, il l'est également en thréonine et en sérine. En revanche, il est pauvre en méthionine, alanine, acide aspartique, acide glutamique, isoleucine, leucine, phénylalanine et tyrosine.

L'effet de l'animal sur le profil de la protéine endogène a été souligné à plusieurs reprises (Boisen and Moughan, 1996 ; Hess et Sève, 1999). L'effet du stade que nous observons pourrait avoir pour origine une adaptation de l'intestin grêle à la suppression du gros intestin (Fuller, 1991). En particulier, 26 semaines après la préparation chirurgicale, cet auteur note une teneur des digesta en acides gras volatils plus élevée chez des animaux munis d'une anastomose iléo-rectale termino-terminale que chez des animaux porteurs d'une canule en T. Cependant Kwella et Hennig (1997) ne notent aucune modification de la catégorie bactérienne dans les jus iléaux de mini porcs, alimentés à base de céréales, jusqu'à 32 semaines après la préparation en anastomose iléo-rectale termino-terminale. Fuller (1991) observe des modifications histologiques de l'iléon avec notamment une augmentation du nombre de cellules en gobelet, sécrétrices de mucus. Compte tenu de la corrélation entre le poids de l'animal et l'âge de l'anastomose ($r=0.90$, $P<0.001$), il est impossible, à partir de nos données, de déterminer laquelle de ces deux composantes du stade influence le profil de la protéine endogène.

Selon Bastianelli (1996), le poids de l'animal n'aurait pas d'influence sur le profil de la protéine endogène. De même, aucun effet ni du poids, ni de l'âge de l'anastomose sur le profil de la protéine endogène n'a été détecté par Hess et Sève (1999) : nos observations pourraient être dues à la large gamme de poids que nous avons utilisée dans cette étude (40 à 107 kg vs 45 à 80 kg dans l'étude de Hess et Sève (1999)), de même qu'au temps écoulé après la préparation chirurgicale pouvant atteindre 29 semaines dans notre étude. Mais l'effet du stade que nous détectons pourrait également provenir de la corrélation négative entre le poids vif et le niveau alimentaire. En effet, de façon équivalente à nos résultats, Stein (1998) observe une modification du profil de la protéine endogène avec la modification du poids des animaux, et notamment, un enrichissement en acide glutamique, méthionine et isoleucine et un appauvrissement en glycine lorsque le poids vif

passe de 36 à 95 kg. Cependant, comme dans notre étude, le niveau alimentaire diminue lorsque le poids des animaux augmente, allant de 120 à 79 g/kg $PV^{0.75}$.

L'effet du groupe d'animaux constaté sur certains acides aminés (cystine, tryptophane, histidine, valine) pourrait avoir pour origine l'échantillonnage effectué pour constituer chacun des groupes. En effet, compte tenu de la variabilité animale, le choix de 4 porcs peut aboutir à un échantillon atypique. Cependant, les difficultés liées au dosage du tryptophane ou de la cystine, de même que la sensibilité à l'hydrolyse de l'histidine peuvent avoir contribué à cet effet du groupe sur le profil de la protéine endogène.

C.2.2 - Information apportée par la comparaison à des protéines de référence

Les trois méthodes utilisées pour comparer la protéine endogène à des protéines de référence (distance du χ^2, régression linéaire multiple et AFC) aboutissent à des résultats cohérents entre eux. Par ailleurs, ils permettent d'illustrer et d'interpréter en partie les effets de l'animal et du stade mis en évidence par l'analyse de variance.

La représentation de chacun des groupes d'animaux dans les catégories que nous avons constituées à partir du calcul de la distance du χ^2 ***(Tableau 28, p 102)*** ou de la régression ***(Tableau 29, p 103***), de même que la répartition des observations sur le plan de projection choisi pour illustrer les résultats de l'analyse factorielle des correspondances ***(Figure 15, p 105)***, confirme la faible influence du groupe d'animaux sur le profil de la protéine endogène.

Concernant l'effet du stade, les trois méthodes montrent une proximité accrue avec MUC et NFEC2 et un éloignement avec MECO du premier au second stade. En cohérence avec l'absence d'interaction entre le stade et l'animal, ce déplacement vers les protéines bactériennes et les protéines de mucus apparaît pour tous les animaux. Bien qu'il soit difficile de quantifier ces modifications, il semblerait que la protéine endogène s'enrichisse à la fois en mucus et en protéine d'origine bactérienne.

Les exemples les plus démonstratifs pour illustrer l'effet de l'animal sont les animaux a1 (groupe A) et a10 (groupe C). Pour les deux stades, le profil des digesta de l'animal a1 est proche de celui de NFEC2 et de celui des protéines de mucus, alors que celui des digesta de l'animal a10 est proche de celui de MECO.

C.2.3 - Etude quantitative : estimation des fractions constitutives des digesta

La méthode de régression linéaire a été utilisée dans le but de quantifier la part des protéines d'origine endogène d'une part, et des protéines d'origine bactérienne d'autre part, dans la protéine excrétée après l'ingestion d'un aliment protéiprive. Cependant, de façon générale, les coefficients de régression sont assortis d'écarts types élevés, ce qui limite leur validité en termes de quantification. Par ailleurs, l'introduction de la variable NFEC2 dans les équations rend difficile leur interprétation. En effet, NFEC2, bien que proche des protéines d'origine bactérienne, peut être décomposé de la façon suivante : NFEC2 = 0.191 (0.079) FPAX + 0.793 (0.084) (BFSY) - χ^2 = 27). De plus, la proximité des profils entre les mucus et certaines protéines bactériennes (χ^2 = 25, 35 et 40 entre MUCM et FPCV, BFST et COLI, respectivement) rend difficile l'interprétation des équations de régression obtenues.

Pour la plupart des observations, la prise en compte du coefficient de régression affecté à BFST (ou NFEC2) comme proportion de protéine bactérienne dans les digesta aboutirait des niveaux extrêmement élevés, parfois

supérieurs à 70%. Or, selon les données de la littérature, les acides aminés d'origine bactérienne représenteraient 20 à 35% des acides aminés totaux des digesta (Dierick et al., 1983 ; Dugan et al., 1994 ; Drochner 1984 ; Poppe et al., 1983 ; Wünsche et al., 1991), voire 50% (Schulze et al., 1994).

Il semble donc que les équations obtenues ne puissent pas, pour la plupart d'entre elles, être utilisées pour quantifier la proportion des différentes protéines dans les digesta, même si elles nous permettent d'illustrer les effets animal et stade.

C.3 - Conséquences sur le mode de calcul de la digestibilité iléale vraie

Compte tenu de cette variabilité animale, certains auteurs (Green et al., 1987, Hess et Sève, 1999) préconisent la mesure de l'excrétion azotée endogène basale sur chaque animal et l'application d'un facteur de correction de la digestibilité iléale apparente individuel plutôt que moyen. Par ailleurs, compte tenu de l'effet du stade, soit sur le profil de la protéine endogène, comme nous l'avons observé, soit sur le niveau d'excrétion azotée endogène (g/kg MSI) (Hodgkinson et al., 1997 ; Stein, 1998 ; Hess et Sève, 1999), on peut supposer que le facteur correctif doit être adapté selon le poids de l'animal ou l'âge de l'anastomose. A partir de nos données, nous avons comparé la digestibilité iléale vraie de différente matières premières selon deux modes de calcul distincts :

- En prenant, pour valeur d'excrétion azotée endogène basale, la valeur moyenne issue de nos 20 observations
- En appliquant à chaque animal, suivant l'âge de l'anastomose au moment de la mesure sur la matière première, l'une des deux valeurs individuelles (stade 1 ou stade 2) d'excrétion azotée endogène.

Cette comparaison a été menée sur les résultats obtenus à partir des groupes A et C. Pour les animaux sur lesquels une seule détermination de l'excrétion azotée endogène avait été effectuée (animaux a12 et a13, groupe C), la même valeur d'excrétion azotée endogène a été appliquée, indépendamment de l'âge de l'anastomose. Seize lots de matière première ont fait l'objet de cette comparaison. Ces lots recouvrent une assez large gamme de matières premières puisqu'on y trouve des céréales (blé, maïs, orge, avoine), des co-produits (corn gluten feed, son de blé, drêches d'orge) ainsi que des tourteaux d'oléagineux (tourteaux de soja, tourteaux de colza) ***(Tableau 32, p 108 et Figure 17, p 108).***

En dépit de cette variabilité liée animal sur l'excrétion azotée endogène, la prise en compte des valeurs individuelles d'excrétion azotée endogène ne modifie pas la valeur de digestibilité iléale standardisée : la différence entre la valeur obtenue à partir de la moyenne, d'une part, et à partir de la valeur individuelle, d'autre part, n'excède pas l'écart type de l'échantillonnage de l'une ou l'autre des valeurs. En particulier, seul un lot de maïs conduit, pour la lysine, la phénylalanine, la tyrosine et la valine, à des différences entre les deux valeurs supérieures à l'écart type de l'échantillonnage mais elles n'excèdent pas 2.9, 1.2, 1.8 et 1.9 points respectivement. Par ailleurs, les résultats de l'analyse de variance testant les effets du lot de matière première et de l'animal ne sont pas modifiés par le mode de calcul de la digestibilité iléale vraie. En particulier, l'écart type résiduel n'est pas amélioré par la prise en compte des valeurs individuelles d'excrétion azotée endogène basale plutôt que la valeur moyenne.

D - CONCLUSION

Nos données confirment la variabilité animale prédominante dans l'estimation de l'excrétion azotée endogène basale. Toutefois, cette variabilité animale ne semble pas avoir d'influence sur le calcul de la digestibilité iléale vraie, et la prise en compte d'une valeur moyenne d'excrétion azotée endogène basale ne modifie pas les résultats obtenus. De même, la prise en compte du stade de l'animal dans les calculs ne modifie pas le résultat final. Toutefois, cette comparaison a été menée sur des animaux de poids assez élevé et pour lesquels ni le poids, ni le niveau alimentaire n'ont d'effet sur l'excrétion azotée endogène basale. Or, pour l'étude des matières premières qui font l'objet des chapitre suivants, nous avons parfois travaillé sur des animaux de poids inférieur à 60 kg. Pour ces animaux légers, les résultats de la littérature nous suggèrent de prendre la précaution de ne pas prendre en compte les données obtenues à des niveaux alimentaires inférieurs à 70 g MSI/kg $PV^{0.75}$, pour lesquelles notre valeur moyenne pourrait sous-estimer l'excrétion azotée endogène basale réelle. Cependant, en dépit de l'effet possible du poids vif sur l'excrétion azotée endogène basale (g/kg MSI) chez les animaux les plus légers, nous avons choisi, en l'absence de données nous permettant de le quantifier, de ne pas le prendre en considération. Toutes les valeurs de digestibilité iléale vraie ont donc été calculées avec, comme valeur d'excrétion azotée endogène basale, la moyenne de nos 20 observations.

E - REFERENCES

Auclair E., 1986. Etudes des pertes azotées d'origine endogène dans le tube digestif chez trois espèces monogastriques : le porc, le coq et le rat. Thèse de doctorat, Université de Clermont-Ferrand II.

Bastianelli D., 1996. Modélisation de la digestion chez le porc en croissance. Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique de Paris-Grignon, 20 septembre 1996, 208 pp.

Boisen S., Moughan P. J., 1996. Dietary influences on endogenous ileal protein and amino acid loss in the pig : A review. Acta Agric. Scand. A, Animal Sci., 46, 154-164.

Butts C. A., Moughan P. J., Reynolds G.W., Garrick D.J., 1993. The effect of food dry matter intake on endogenous ileal amino acid excretion determined under peptide alimentation in the 50kg liveweight pig. J. Sci. Food Agric., 62, 235-243.

Corring T., Jung J., 1972. The amino acid composition of pig pancreatic juice. Nutr. Rep. Intern., 6, 187-190.

Darcy B., Laplace J.P., Duée P.H., 1982. Digestion des protéines dans l'intestin grêle chez le porcs. 1. Digestibilité des acides aminés selon la source de protéines dans l'intestin grêle selon la source de protéines d'un régime à base d'amidon de maïs purifié. Ann. Zootech., 31, 279-300.

Dierick N.A., Decuypere D.A., Vervaeke I.J., Hendrickx H.K., 1983. Digestion iléale et fécale de la matière sèche, des protéines et des acides aminés de quelques rations conventionnelles pour les porcs à l'engrais. Rev. Agric. (Bruxelles), 36, 1713-1726.

Drochner W., 1984. Einfluss wechselnder Rohfaser- und Pektingehalte im Futter auf einige praecaecale und postileale Verdauungsvorgänge beim wachsenchen Schwein. Forschritte Tierphysiol. Tierernähr., 14, 120-125.

Dugan M. E. R., Sauer W. C., Dugan Jr J. M., Caine W. R., 1994. Determination of bacterial amino acid contribution to ileal digesta from pigs using 35S and DAPA marker techniques. J. Anim. Feed Sci., 3, 149-159.

Fuller M.F., 1991. Methodologies for measurement of digestion. In : Digestive Physiology in Pigs. Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. Verstegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., eds. EAAP publication n°54, Pudoc, April 24-26, 1991, Wageningen, The Netherlands, 273-288.

Fuller M. F., Cadenhead A., 1991. Effect of the amount and composition of the diet on galactosamine flow from the small intestine. In : Digestive Physiology in Pigs. Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. Verstegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., eds. EAAP publication n°54, Pudoc, April 24-26, 1991, Wageningen, The Netherlands, 330-333.

Furuya S., Kaji Y., 1992. The effect of feed intake and purified cellulose on the endogenous ileal amino acid flow in growing pigs. Br. J. Nutr., 68, 463-472.

Hess V., Sève B., 1999. Effects of body weight and feed intake on basal ileal endogenous losses in growing pigs. J. Anim. Sci., 77, 3281-3288.

Hodgkinson S.M., Moughan P.J., Reynolds G.M., 1997. Effect of live weight on endogenous ileal nitrogen and amino acid excretion in the growing pig. In: Manipulating Pig Production VI. Proc. 6th Biennal Conf. Australasian Pig Sci. Assoc., Canwell P.D,. eds, December 7-10, Canberra, ACT, 235-236.

Kwella M., Hennig U., 1997. Long-term investigation on the microflora in the ileal chyme of ileorectostomized minipigs. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, 535-539.

Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Duval-Iflah Y., Raibaud P., 1985. Proteins in the digesta of the pig : amino acids composition of endogenous, bacterial and fecal fractions. Reprod. Nutr. Develop., 27, 929-939.

Lechevestrier Y., 1996. Digestion et absorption des acides aminés dans l'intestin grêle du porc. Effets de la composition des protéines alimentaires, de leurs propriétés physiques et des facteurs antinutritionnels. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon, 161 pp.

Mariscal-Landin G., 1992. Facteurs de variation de l'utilisation digestive des acides aminés chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, 134 pp.

Mariscal-Landin G., Sève B., Colléaux Y., Lebreton Y., 1995. Endogenous amino nitrogen collected from pigs with end-to-end ileorectal anstomosis is affected by the method of estimation and altered by dietary fiber. J. Nutr., 125, 136-146.

Mason V.C.,Just A., Bech-Andersen S., 1976. Bacterial activity in the hind-gut of pigs. 2. Its influence on the apparent digestibility of nitrogen and amino acids. Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkde, 36, 310-324.

Moughan P.J., Schuttert G., 1991. Composition of nitrogen containing fractions in digesta from the distal ileum of pigs fed a protein-free diet. J. Nutr., 121, 1570-1574.

Picard M., Bertrand S., Genin F., Maillard R., 1984. Digestibilité des acides aminés : intérêt de la technique du shunt iléo-rectal chez le porc. Journées Rech. Porcine en France, 16, 355-360.

Poppe S., Meier H., Bennke H.J., Stuwe E., 1983. Zur Protein und Aminosaürenverdaulichkeit in verschiedenen Darmabschnitten beim Schwein. 3. Aminosaürenzusammensetzung von Chymus und Kotprotein. Arch. Tierenähr., 33, 743-748.

Schulze H., 1994. Endogenous ileal nitrogen losses in pigs - Dietary factors. PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Animal Nutrition Department, 147 pp.

Sève B., Tran G., Jondreville C., Skiba F., van Cauwenberghe S., Bodin J.C., Langer S., 2000. Measuring ileal basal endogenous losses and digestive utilisation of amino acids through ileo-rectal anastomosis in pigs: ring test between three laboratories. Proc. 8th

Intern. Symp. On Digestive Physiology in Pigs, 20-22 June, Uppsala, Sweeden, in press

Souffrant W.B., 1991. Endogenous nitrogen losses during digestion in pigs. In : Digestive Physiology in Pigs. Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. Verstegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., eds.EAAP publication n°54, Pudoc, April 24-26, 1991, Wageningen, The Netherlands, 147-166.

Souffrant W. B., Rérat A., Laplace J.P., Darcy B. V., Kohler R., Corring T., Gebhardt G., 1993. Exogenous and endogenous contribution to nitrogen fluxes in the digestive tract of pigs fed a casein diet. III. Recycling of endogenous nitrogen. Reprod. Nutr. Dev., 33, 373-382.

Stein H.H., 1998. Effect of body weight on total losses and amino acid composition of endogenous protein in growing pigs. In : Comparative amino acid digestibilities in growing pigs and sows. PhD Thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois, USA, pp 215-236.

Tamminga S., Schulze H., van Bruchem J., Huisman J., 1995. The nutritional significance of endogenous N-losses along the gastrointestinal tract of farm animals. Arch. Anim. Nutr., 48, 9-22.

Wünsche J., Hermann U., Meinl M., Hennig U., Kreienbring F., Zwierz P., 1987. Einfluss exogener Faktoren auf die präzäkale Nährstoff- und Aminosaüren- absorption, ermittelt an Schweinen mit ileo-rektal Anastomosen. Arch. Tierernähr., Berlin, 37, 745-764.

Wünsche J., Völker T., Borgman E., Souffrant W.B., 1991. Assessing the proportion of bacterial nitrogen in faeces and digesta of pigs using DAP estimation and bacterai fractionation. In : Digestive Physiology in Pigs. Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. Verstegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., eds. EAAP publication n°54, Pudoc, April 24-26, 1991, Wageningen, The Netherlands, 310-316.

Tableau 21 : Distribution de l'aliment protéiprive entre les groupes d'animaux et les animaux : données sur le stade des animaux et le niveau alimentaire

Groupe	Stade	Animal	PV	O	MSI	NA
A	1	a1	66	17	1930	83
A	2	a1	103	29	2194	68
A	1	a2	56	17	1654	81
A	2	a2	91	29	1828	62
A	1	a3	60	17	1597	74
A	2	a3	95	29	1828	60
A	1	a4	63	17	2395	107
A	2	a4	92	29	1828	62
B	2	a5	104	25	1814	56
B	2	a6	103	25	2177	67
B	2	a7	106	25	1814	55
B	2	a8	107	25	1814	55
C	1	a9	49	7	1964	106
C	2	a9	99	26	2326	74
C	1	a10	40	7	1776	112
C	2	a10	69	26	1901	79
C	1	a11	43	7	1964	117
C	2	a11	89	26	2127	73
C	1	a12	49	7	1951	105
C	2	a12	-	-	-	-
C	2	a13	93	26	2226	74

Poids Vif (kg) estimé au moment de la collecte ; O : âge de l'anastomose (semaine) ; MSI : Matière sèche ingérée (g/j) ; NA : Niveau alimentaire (g MSI/kg $PV^{0.75}$)

Figure 13 : Aliment protéiprive : Niveau alimentaire en fonction du poids métabolique

a1 à a13 : animaux ; Xn : groupe X, stade n

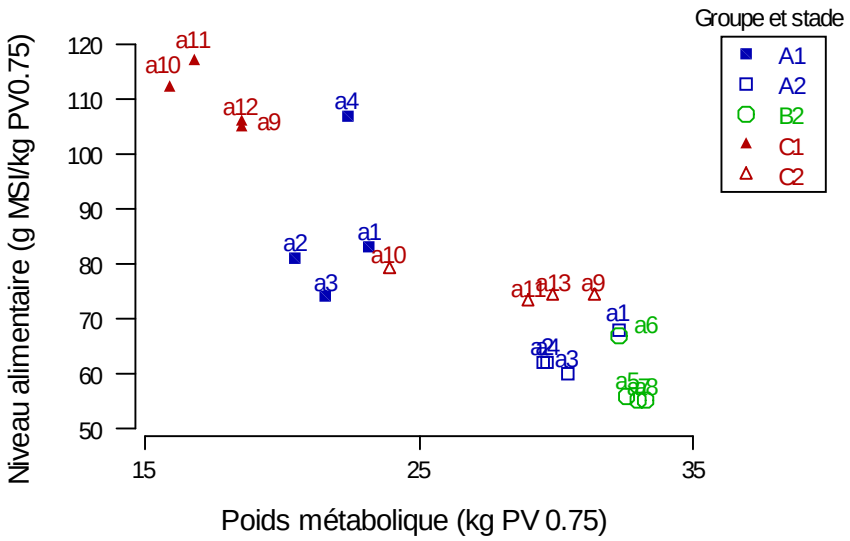


Tableau 22 : Aliment protéiprive : excrétion de matière sèche, d'azote et d'acides aminés (g/kg MSI) et profil de la protéine endogène (% ΣAA) (données individuelles)

Groupe	**A**								**B**				**C**							
Stade	**1**				**2**				**2**				**1**				**2**			
Animal	a1	a2	a3	a4	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a9	a10	a11	a13
NA	83	81	74	107	68	62	60	62	56	67	55	55	106	112	117	105	74	79	73	74
PV	66	56	60	63	103	91	95	92	104	103	106	107	49	40	43	49	99	69	89	93
O	17	17	17	17	29	29	29	29	25	25	25	25	7	7	7	7	26	26	26	26
g/kg MSI																				
MS	65.4	65.2	45.3	62.5	60.2	47.1	72.3	67.4	74.1	75.4	62.0	67.1	67.5	78.1	66.7	56.2	83.6	67.9	69.0	61.2
N	1.25	1.33	0.83	1.03	1.06	0.77	1.54	1.39	1.21	1.02	1.04	1.09	0.97	1.47	1.04	1.16	1.37	1.26	1.06	1.01
ΣAA	3.73	4.50	2.53	3.24	4.16	3.42	5.88	5.00	4.77	3.67	4.00	3.71	3.03	4.56	3.62	4.65	4.12	4.02	3.72	3.06
Acides aminés (% ΣAA)																				
Lys	8.6	7.4	7.2	7.2	7.3	6.7	6.6	6.9	7.0	5.7	6.4	5.0	6.4	5.0	6.0	6.7	7.0	4.9	7.2	6.2
Thr	5.7	5.8	5.9	6.8	5.9	6.2	6.0	6.1	5.8	6.8	7.2	5.9	6.8	9.1	7.0	5.1	6.2	7.9	5.7	5.8
Met	2.5	2.1	1.5	1.6	2.7	2.7	2.3	2.0	2.4	2.1	2.1	2.9	2.1	1.1	2.5	2.0	2.7	1.4	2.6	2.3
Cys	2.7	2.8	3.1	2.8	2.5	2.4	2.3	2.6	2.4	2.8	3.0	2.9	3.0	2.8	2.6	2.1	2.3	2.5	2.6	2.7
Trp	1.9	1.9	2.1	2.0	1.8	2.0	1.7	2.0	2.3	2.1	2.4	2.3	2.5	2.1	2.2	2.0	2.0	2.1	2.2	1.9
Ala	6.8	7.3	7.9	9.5	7.3	7.0	7.9	8.5	6.7	6.6	7.0	7.0	7.5	7.5	8.5	6.1	7.2	7.5	7.2	7.0
Arg	4.3	5.3	4.8	3.8	5.1	5.6	5.2	3.1	5.6	4.9	4.9	5.0	5.2	4.8	5.1	6.1	5.6	6.0	5.7	5.6
Asp	10.6	10.2	9.0	8.5	11.3	11.4	10.0	10.8	9.7	10.4	10.3	12.5	10.7	9.6	9.4	11.1	10.9	10.1	11.1	10.3
Glu	13.8	12.6	12.9	12.5	14.0	13.3	12.8	12.5	13.1	12.3	12.4	12.9	13.2	11.0	12.1	15.8	13.2	11.4	13.2	12.8
Gly	7.5	7.6	10.9	13.7	7.0	6.2	10.3	11.3	9.7	13.4	8.7	11.2	9.3	16.5	10.8	6.6	9.3	14.9	6.8	13.0
His	2.2	2.2	2.2	2.6	2.1	2.1	1.8	1.8	2.4	2.1	2.2	2.2	2.3	2.5	2.1	2.7	2.3	2.5	2.3	2.3
Ile	5.4	5.2	4.6	4.4	5.6	5.6	4.9	4.8	5.0	4.7	4.9	4.8	5.0	3.9	4.9	5.2	5.0	3.9	5.1	4.5
Leu	7.7	7.9	7.4	6.8	7.6	7.7	7.1	7.5	8.0	7.2	7.6	7.5	8.0	6.6	7.6	8.2	7.6	6.3	8.1	7.4
Phe	4.7	4.9	4.2	3.6	4.5	4.8	4.9	4.0	4.6	3.6	4.3	2.8	3.6	2.7	4.2	5.2	4.1	3.3	4.7	3.9
Ser	5.6	6.2	6.3	6.0	5.3	5.6	5.9	6.1	5.6	6.6	6.5	6.1	6.4	8.0	6.4	5.7	6.0	8.2	6.0	6.2
Tyr	3.1	3.4	3.1	2.0	3.3	3.8	3.4	3.0	2.9	2.5	2.9	1.8	2.1	1.4	2.6	3.2	2.7	1.9	3.2	2.5
Val	7.0	7.1	7.0	6.6	7.0	7.0	7.0	7.2	6.9	6.4	7.3	7.3	6.1	5.5	6.0	6.0	6.0	5.4	6.4	5.8

NA : niveau alimentaire (g MSI/kg $PV^{0.75}$) - PV : poids vif (kg) – O : âge de l'anastomose (semaine) -

Tableau 23: Aliment protéiprive : Excrétion de matière sèche, d'azote et d'acides aminés d'origine endogène (mg/kg PV $^{0.75}$) en fonction du niveau alimentaire (NA en g MSI/kg PV$^{0.75}$) (Modèle n°2) et excrétion endogène basale moyenne (g/kg MSI)

	Modèle						Moyenne des 20 observations			
	NA	et	P	R^2	etr	cvr (%)	Moy.	min	max	etm
MS	65.9	(2.0)	***	0.79	71.4	13.8	65.7	45.3	83.6	2.1
N	1.15	(0.04)	***	0.68	15.92	17.7	1.14	0.77	1.54	0.05
ΣAA	3.89	(0.16)	***	0.56	58.99	19.1	3.97	2.53	5.88	0.17
Lys	0.253	(0.013)	**	0.36	4.710	23.4	0.261	0.182	0.390	0.014
Thr	0.255	(0.015)	***	0.53	5.412	27.2	0.253	0.149	0.413	0.014
Met	-	-	NS	-	-	-	0.086	0.037	0.135	0.006
Cys	0.102	(0.004)	***	0.66	1.315	16.3	0.104	0.079	0.135	0.004
Trp	0.080	(0.003)	***	0.66	1.091	17.3	0.081	0.052	0.107	0.003
Ala	0.291	(0.012)	***	0.61	4.520	19.7	0.293	0.200	0.465	0.014
Arg	0.198	(0.011)	**	0.41	4.077	26.0	0.201	0.121	0.308	0.011
Asp	0.399	(0.019)	**	0.36	7.025	22.0	0.413	0.228	0.585	0.020
Glu	0.501	(0.025)	***	0.46	9.041	22.8	0.511	0.326	0.750	0.025
Gly	0.411	(0.034)	**	0.38	12.341	38.6	0.405	0.211	0.753	0.031
His	0.089	(0.004)	***	0.61	1.562	22.4	0.088	0.056	0.127	0.004
Ile	0.187	(0.009)	**	0.39	3.280	22.0	0.193	0.117	0.285	0.010
Leu	0.290	(0.013)	***	0.49	4.747	20.6	0.297	0.186	0.420	0.014
Phe	0.159	(0.011)	*	0.20	3.926	30.9	0.165	0.102	0.285	0.011
Ser	0.247	(0.013)	***	0.53	4.793	24.7	0.247	0.158	0.364	0.012
Tyr	-	-	NS	-	-	-	0.110	0.062	0.203	0.008
Val	0.248	(0.012)	*	0.21	4.352	21.8	0.261	0.177	0.413	0.014

NS : P > 0.10 ; * : P < 0.05 ; ** : P < 0.01 ; *** : P < 0.001

et : écart type - etr : écart type résiduel - cvr : coefficient de variation résiduelle (%) – R^2 : coefficient de détermination

Moy. : valeur moyenne - min : valeur minimum observée - max : valeur maximum observée - etm : écart type de la moyenne

Figure 14 : Excrétion endogène basale d'acides aminés (ΣAAE) (mg/kg PV$^{0.75}$) en fonction du niveau alimentaire (NA) (g MSI/kg PV$^{0.75}$)

a1 à a13 : animaux ; Xn : groupe X, stade n

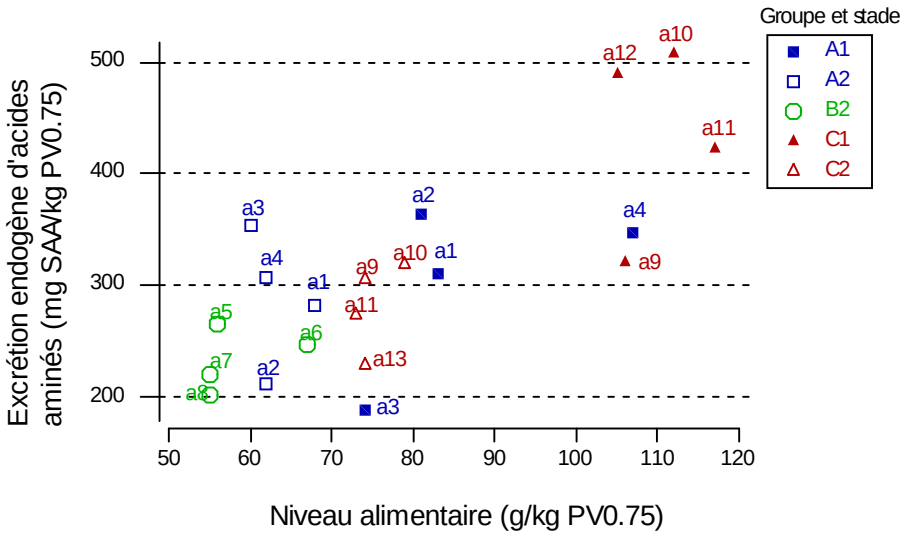


Tableau 24: Effets du stade (poids vif ou âge de l'anastomose), du groupe d'animaux et de l'animal intra-groupe sur l'excrétion azotée endogène basale (g/kg MSI)

	PV	G	A	cvr (%)	O	G	A	cvr (%)
MS	NS	0.07	NS	16.5	NS	0.07	NS	16.7
N	NS	NS	NS	26.7	NS	NS	NS	26.9
ΣAA	NS	NS	NS	26.8	NS	NS	NS	27.7
Lys	NS	NS	NS	28.2	NS	NS	NS	28.8
Thr	NS	NS	NS	28.3	NS	NS	NS	29.0
Met	0.06	NS	NS	29.4	0.09	NS	NS	31.2
Cys	NS	NS	NS	23.9	NS	NS	NS	24.0
Trp	NS	NS	NS	20.7	NS	NS	NS	21.1
Ala	NS	NS	NS	29.1	NS	NS	NS	29.9
Arg	NS	NS	NS	24.9	NS	NS	NS	25.8
Asp	NS	NS	NS	26.6	NS	NS	NS	27.9
Glu	NS	NS	NS	24.7	NS	NS	NS	25.8
Gly	NS	NS	NS	31.3	NS	NS	NS	31.5
His	NS	NS	NS	19.5	NS	NS	NS	20.0
Ile	NS	NS	NS	26.9	NS	NS	NS	28.1
Leu	NS	NS	NS	26.8	NS	NS	NS	27.7
Phe	NS	NS	NS	31.8	NS	NS	NS	32.4
Ser	NS	NS	NS	26.6	NS	NS	NS	27.1
Tyr	0.09	NS	NS	32.8	0.11	NS	NS	32.8
Val	NS	NS	NS	29.6	NS	NS	NS	30.5

PV : poids vif - O : âge de l'anastomose - G : groupe d'animaux - A : animal

cvr : coefficient de variation résiduelle (%)

L'effet du groupe d'animaux est testé contre l'erreur résiduelle entre animaux intra groupe, l'effet du stade est testé contre l'erreur résiduelle - NS : P>0.10 ; * : P<0.05 ; ** : P<0.01 ; *** : P<0.001

Tableau 25 : Effets du stade (poids vif ou âge de l'anastomose), du groupe d'animaux et de l'animal intra-groupe sur le profil de la protéine endogène

	PV	G	A	cvr (%)	O	G	A	cvr (%)
Lys	NS	0.07	NS	9.1	NS	0.07	NS	9.1
Thr	NS	NS	*	7.5	*	NS	*	6.5
Met	**	NS	**	8.5	**	NS	**	9.5
Cys	*	0.06	NS	8.0	*	0.1	NS	8.4
Trp	0.07	**	NS	7.3	NS	**	NS	7.8
Ala	NS	NS	0.06	5.9	NS	NS	0.05	5.9
Arg	0.10	0.08	0.06	7.7	0.06	0.08	*	7.2
Asp	*	NS	0.09	5.3	*	NS	0.08	5.4
Glu	0.10	NS	**	2.4	0.08	NS	***	2.4
Gly	*	NS	**	9.7	*	NS	**	9.0
His	NS	0.05	NS	10.4	NS	NS	NS	10.6
Ile	0.07	NS	**	3.2	NS	NS	**	3.5
Leu	NS	NS	*	4.1	NS	NS	*	4.1
Phe	*	NS	**	6.2	*	NS	**	5.4
Ser	*	NS	**	3.2	NS	NS	**	3.6
Tyr	**	NS	**	7.3	**	NS	**	6.7
Val	NS	***	NS	3.3	NS	**	NS	3.3

L'excrétion de chacun des acides aminés est exprimée en % de l'excrétion totale d'acides aminés

PV : poids vif - O : âge de l'anastomose - G : groupe d'animaux - A : animal

cvr : coefficient de variation résiduelle (%)

L'effet du groupe d'animaux est testé contre l'erreur résiduelle entre animaux intra groupe, l'effet du stade est testé contre l'erreur résiduelle - NS : P>0.10 ; * : P<0.05 ; ** : P<0.01 ; *** : P<0.001

Tableau 26 : Profil des protéines de référence (% ΣAA) (sans proline et sans tryptophane) auxquelles est comparé le profil de la protéine endogène basale

voir Tableau 27 (p 102) ; Tableau 28 (p 102) ; Tableau 29 (p 103) ; Figure 15 (105)

	Lys	Thr	Met	Cys	Ala	Arg	Asp	Glu	Gly	His	Ile	Leu	Phe	Ser	Tyr	Val
Protéines endogènes																
SUCP	5.4	5.5	1.1	3.5	5.6	5.4	13.1	10.8	6.5	2.8	6.2	8.7	4.6	7.3	6.0	7.5
MUCP	8.0	5.8	2.2	2.1	5.9	6.8	9.5	14.8	5.9	2.6	5.0	9.5	5.0	5.5	4.8	6.4
MUCD	8.0	5.5	2.3	1.9	5.8	7.0	9.6	14.8	7.2	2.7	5.1	9.1	4.8	5.2	4.7	6.3
MUCM	8.0	5.6	2.2	2.0	5.8	6.9	9.6	14.8	6.5	2.7	5.1	9.3	4.9	5.3	4.8	6.3
MUQD	8.3	5.3	1.7	1.0	7.2	7.9	10.0	14.7	9.2	2.0	4.3	9.2	4.6	5.3	3.4	5.9
MUQJ	8.5	5.3	1.5	1.1	6.9	8.2	9.9	15.2	8.5	2.2	4.4	9.1	4.5	5.4	3.7	5.6
MECO	6.5	7.6	1.1	2.7	5.9	5.7	9.6	11.7	13.7	3.2	3.6	8.2	4.4	6.4	3.4	6.4
FPAX	5.7	12.6	1.3	4.4	5.6	5.4	8.6	13.9	6.8	3.0	3.7	6.7	3.7	9.0	3.1	6.3
Protéines bactériennes																
FPCV	7.1	5.7	2.5	2.2	6.9	5.2	11.3	13.7	5.7	2.4	5.8	9.0	5.6	5.3	4.5	7.0
BFSY	6.8	5.2	2.4	2.2	7.1	5.0	14.7	11.5	5.4	2.1	6.0	8.6	6.4	5.7	4.2	6.6
BFST	7.8	5.7	2.3	1.7	7.3	5.5	11.7	12.6	5.5	2.3	6.3	8.9	5.8	5.0	4.8	6.9
COLI	7.6	5.3	2.7	1.1	7.8	7.5	11.6	13.2	5.7	2.6	5.7	9.0	4.8	4.1	3.9	7.3
BI	8.0	4.8	1.2	1.9	6.4	7.3	14.5	9.5	4.8	2.6	6.5	9.8	6.6	5.1	4.6	6.5
NFEC1	7.1	5.5	2.6	2.0	7.1	5.3	10.5	13.4	5.6	2.6	5.0	7.6	6.5	8.8	4.4	6.0
NFEC2	7.0	6.9	3.0	2.2	7.6	4.6	13.0	13.5	6.1	2.0	5.8	8.1	5.1	5.4	2.6	7.1

SUCP : suc pancréatique de porc (Corring et Jung, 1972) - **MUCP** : Mucus de l'intestin grêle du porc, partie proximale (Darcy-Vrillon et Calmes, non publié) - **MUCD** : Mucus de l'intestin grêle du porc, partie distale (Darcy-Vrillon et Calmes, non publié) - **MUCM** : Mucus moyen de l'intestin grêle du porc (Darcy-Vrillon et Calmes, non publié) - **MUQD** : Muqueuse duodénale de porc (Rérat, non publié) - **MUQJ** : Muqueuse jéjunale de porc (Rérat, non publié) - **MECO** : Méconium de porc nouveau né (Laplace et al.,1985) - **FPAX** : Fèces de porc axénique (Laplace et al., 1985) - **FPCV** : Fèces de porc conventionnel (Laplace et al., 1985) - **BFSY** : Bactéries de fèces de porcs consommant un régime semi-synthétique (Laplace et al., 1985) - **BFST** : Bactéries de fèces de porcs consommant un régime standard (Laplace et al., 1985) - **COLI** : Escherichia Coli (Laplace et al., 1985) - **BI** : Bactérie iléale de porc consommant un aliment standard (Dugan et al., 1994) - **NFEC1** : Azote fécal métabolique (Mason et al., 1976) - **NFEC2** : Azote fécal métabolique (Mason et al., 1976)

Tableau 27 : Comparaison des profils des digesta avec celui des protéines de référence : distance du χ^2

			Protéines endogènes								Protéines bactériennes						
G	**A**	**S**	**SUCP**	**MUCP**	**MUCD**	**MUCM**	**MUQD**	**MUQJ**	**MECO**	**FPAX**	**FPCV**	**BFSY**	**BFST**	**COLI**	**BI**	**NFEC1**	**NFEC2**
A	a1	1	120	56	51	52	85	87	131	191	34	67	50	79	149	66	29
		2	102	48	44	45	80	81	143	188	21	49	35	53	129	59	15
	a2	1	79	45	42	42	72	73	101	159	28	57	42	70	117	46	37
		2	80	35	38	35	85	83	156	180	11	33	22	41	101	42	17
	a3	1	135	114	95	103	90	98	48	164	104	149	126	153	223	118	104
		2	130	91	71	79	66	79	71	193	70	103	85	103	186	88	65
	a4	1	270	240	207	221	165	186	72	227	217	269	243	260	371	230	177
		2	163	163	141	150	129	148	85	221	119	144	138	175	255	143	89
B	a5	2	125	64	46	54	53	61	65	183	57	99	77	84	167	84	58
	a6	2	177	178	147	161	126	144	39	180	162	194	191	208	292	173	132
	a7	2	95	86	79	81	99	105	69	113	64	94	87	115	177	81	47
	a8	2	180	191	165	177	154	174	110	223	156	172	190	184	289	189	101
C	a9	1	137	109	95	100	92	99	75	136	91	122	118	128	207	110	59
		2	133	75	57	64	58	66	82	174	61	90	79	83	171	79	43
	a10	1	344	385	346	363	279	301	85	218	375	410	411	426	504	357	311
		2	267	289	253	269	192	210	57	191	284	311	314	319	395	255	238
	a11	1	161	129	110	117	97	112	64	161	107	143	130	145	238	116	82
		2	91	37	37	36	70	69	131	175	20	43	36	51	110	40	22
	a12	1	105	27	24	24	59	49	145	198	27	62	45	53	112	49	50
	a13	2	181	151	118	133	92	108	44	207	143	176	170	173	263	154	123

G : Groupe d'animaux ; A : animal ; S : stade

SUCP : suc pancréatique de porc (Corring et Jung, 1972) - **MUCP** : Mucus de l'intestin grêle du porc, partie proximale (Darcy-Vrillon et Calmes, non publié) - **MUCD** : Mucus de l'intestin grêle du porc, partie distale (Darcy-Vrillon et Calmes, non publié) - **MUCM** : Mucus moyen de l'intestin grêle du porc (Darcy-Vrillon et Calmes, non publié) - **MUQD** : Muqueuse duodénale de porc (Rérat, non publié) - **MUQJ** : Muqueuse jéjunale de porc (Rérat, non publié) - **MECO** : Méconium de porc nouveau né (Laplace et al.,1985) - **FPAX** : Fèces de porc axénique (Laplace et al., 1985) - **FPCV** : Fèces de porc conventionnel (Laplace et al., 1985) - **BFSY** : Bactéries de fèces de porcs consommant un régime semi-synthétique (Laplace et al., 1985) - **BFST** : Bactéries de fèces de porcs consommant un régime standard (Laplace et al., 1985) - **COLI** : Escherichia Coli (Laplace et al., 1985) - **BI** : Bactérie iléale de porc consommant un aliment standard (Dugan et al., 1994) - **NFEC1** : Azote fécal métabolique (Mason et al., 1976) - **NFEC2** : Azote fécal métabolique (Mason et al., 1976) - Le profil de ces protéines est donné au ***Tableau 26 (p 101).***

Tableau 28 : Distance du χ^2 : distribution des observations selon différentes catégories

Catégorie	**1**	**2**	**3**	**4**
		χ^2		
Protéine de référence				
MECO	**39-85**	**64-85**	**65-71**	82-156
NFEC2	104-311	**47-89**	**58-65**	**15-50**
MUQ	90-301	92-148	**53-79**	**49-87**
MUC	95-385	79-163	**46-91**	**24-56**
COLI	153-426	115-175	84-103	**41-83**

G	**A**								**B**			**C**							
A	**a1**		**a2**		**a3**		**a4**		**a5**	**a6**	**a7**	**a9**		**a10**		**a11**		**a12**	**a13**
S	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**	**2**	**2**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**
Catégorie	4	4	4	4	1	3	1	2	3	1	2	2	4	1	1	2	4	4	1

G : Groupe d'animaux ; A : animal ; S : stade

MECO : Méconium de porc nouveau né (Laplace et al.,1985) **- NFEC2** : Azote fécal métabolique (Mason et al., 1976) - **MUC** : Mucus de l'intestin grêle du porc (Darcy-Vrillon et Calmes, non publié) - **MUQ** : Muqueuse de l'intestin grêle de porc (Rérat, non publié) -.COLI : Escherichia Coli (Laplace et al., 1985). Le profil de ces protéines est donné au ***Tableau 26 (p 101).***.

Tableau 29 : Estimation des fractions constitutives des digesta (régression linéaire multiple)

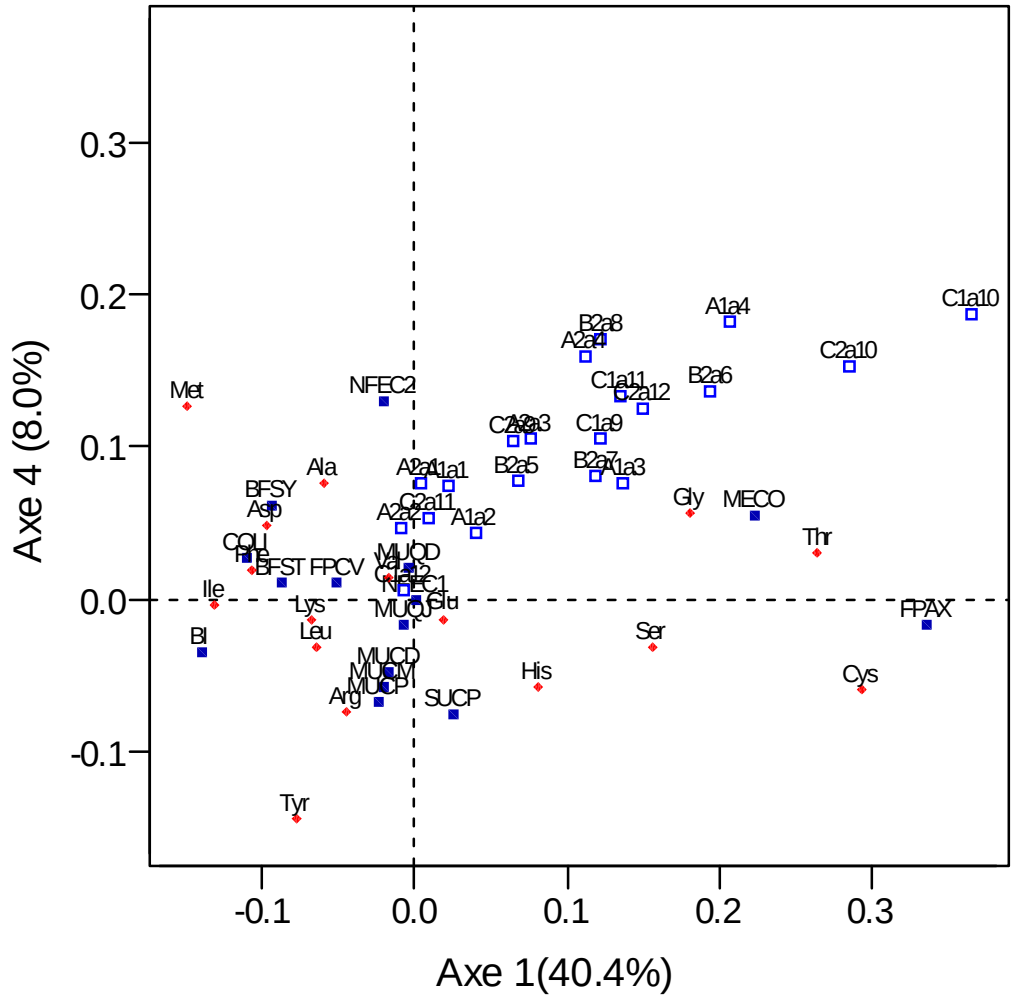
G	A								B				C							
A	a1		a2		a3		a4		a5	a6	a7	a8	a9		a10		a11		a12	a13
S	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2
MECO	0.223	0.155	0.310	0.111	0.635	0.457	0.957	0.454	0.469	0.703	0.427	0.453	0.436	0.390	0.939	0.962	0.536	0.192	0.217	0.669
et	(0.077)	(0.056)	(0.073)	(0.062)	(0.095)	(0.086)	(0.053)	(0.126)	(0.068)	(0.102)	(0.055)	(0.159)	(0.083)	(0.063)	(0.062)	(0.049)	(0.093)	(0.066)	(0.109)	(0.105)
P	*	*	**	0.09	***	***	***	**	***	***	***	*	***	***	***	***	***	*	0.07	***
NFEC2	0.765	0.838	0.680	0.880	0.350	0.531	-	0.521	0.524	0.282	0.567	0.510	0.552	0.603	-	-	0.450	0.799	0.758	0.316
et	(0.079)	(0.058)	(0.074)	(0.066)	(0.093)	(0.086)	-	(0.127)	(0.068)	(0.100)	(0.056)	(0.159)	(0.083)	(0.064)	-	-	(0.093)	(0.068)	(0.113)	(0.103)
P	***	***	***	***	**	***	-	**	***	*	***	**	***	***	-	-	***	***	***	**
χ^2	18	10	16	14	24	18	72	37	11	23	9	54	17	10	85	57	22	14	39	25
MECO	0.289	0.227	0.327	0.155	0.658	0.499	-	0.581	0.517	0.977	0.517	-	0.610	0.494	-	-	0.652	0.247	0.229	-
et	(0.098)	(0.083)	(0.069)	(0.065)	(0.101)	(0.096)	-	(0.154)	(0.081)	(0.039)	(0.095)	-	(0.132)	(0.100)	-	-	(0.121)	(0.078)	(0.094)	-
P	*	*	***	*	***	***	-	**	***	***	***	-	***	***	-	-	***	**	*	-
BFST	0.692	0.759	0.663	0.836	0.325	0.486	-	0.381	0.472	-	0.467	-	0.359	0.489	-	-	0.324	0.740	0.751	-
et	(0.100)	(0.087)	(0.070)	(0.068)	(0.099)	(0.096)	-	(0.153)	(0.081)	-	(0.094)	-	(0.130)	(0.100)	-	-	(0.118)	(0.081)	(0.098)	-
P	***	***	***	***	**	***	-	*	***	-	***	-	*	***	-	-	*	***	***	-
χ^2	30	23	16	15	27	24	-	56	18	39	26	-	44	28	-	-	39	21	32	-
MUQJ	0.246	0.237	0.371	0.235	-	0.402	-	-	0.472	-	-	-	-	0.394	-	-	-	0.325	0.505	-
et	(0.105)	(0.067)	(0.105)	(0.073)	-	(0.146)	-	-	(0.122)	-	-	-	-	(0.109)	-	-	-	(0.073)	(0.102)	-
P	*	**	**	**	-	*	-	-	**	-	-	-	-	**	-	-	-	***	***	-
NFEC2	0.742	0.758	0.617	0.759	-	0.574	-	-	0.512	-	-	-	-	0.593	-	-	-	0.669	0.483	-
et	(0.107)	(0.068)	(0.106)	(0.075)	-	(0.147)	-	-	(0.123)	-	-	-	-	(0.110)	-	-	-	(0.073)	(0.101)	-
P	***	***	***	***	-	**	-	-	**	-	-	-	-	***	-	-	-	***	***	-
χ^2	21	8	21	10	-	41	-	-	28	-	-	-	-	22	-	-	-	10	19	-
MUCM	0.325	0.309	0.463	0.380	-	0.383	-	-	0.486	-	-	-	-	0.330	-	-	-	0.410	0.347	-
et	(0.121)	(0.075)	(0.124)	(0.062)	-	(0.191)	-	-	(0.159)	-	-	-	-	(0.153)	-	-	-	(0.082)	(0.114)	-
P	*	**	**	***	-	0.07	-	-	**	-	-	-	-	*	-	-	-	***	**	-
NFEC2	0.663	0.687	0.525	0.617	-	0.589	-	-	0.494	-	-	-	-	0.651	-	-	-	0.585	0.643	-
et	(0.122)	(0.076)	(0.124)	(0.062)	-	(0.192)	-	-	(0.159)	-	-	-	-	(0.154)	-	-	-	(0.082)	(0.115)	-
P	*	***	***	***	-	**	-	-	**	-	-	-	-	**	-	-	-	***	**	-
χ^2	19	7	19	4	-	52	-	-	36	-	-	-	-	33	-	-	-	8	15	-

MUCM : Mucus moyen de l'intestin grêle du porc (Darcy-Vrillon et Calmes, non publié) - **MUQJ** : Muqueuse jéjunale de porc (Rérat, non publié) - **MECO** : Méconium de porc nouveau né (Laplace et al.,1985) **- BFST** : Bactéries de fèces de porcs consommant un régime standard (Laplace et al., 1985) **- NFEC2** : Azote fécal métabolique (Mason et al., 1976). Le profil de ces protéines est donné au ***Tableau 26 (p 101).***

et : écart type du coefficient de régression - P : probabilité (* : P < 0.05 ; ** : P < 0.01 ; *** : P < 0.001) – χ^2 : distance du χ^2 entre le profil de la protéine excrétée et celui du la protéine obtenue par régression linéaire

G : Groupe d'animaux ; A : animal ; S : stade

Figure 15 : Comparaison du profil de la protéine contenue dans les digesta des porcs après l'ingestion de l'aliment protéiprive à celui de protéines de référence (analyse factorielle des correspondances)



SUCP : suc pancréatique de porc (Corring et Jung, 1972) - **MUCP** : Mucus de l'intestin grêle du porc, partie proximale (Darcy-Vrillon et Calmes, non publié) - **MUCD** : Mucus de l'intestin grêle du porc, partie distale (Darcy-Vrillon et Calmes, non publié) - **MUCM** : Mucus moyen de l'intestin grêle du porc (Darcy-Vrillon et Calmes, non publié) - **MUQD** : Muqueuse duodénale de porc (Rérat, non publié) - **MUQJ** : Muqueuse jéjunale de porc (Rérat, non publié) - **MECO** : Méconium de porc nouveau né (Laplace et al.,1985) - **FPAX** : Fèces de porc axénique (Laplace et al., 1985) - **FPCV** : Fèces de porc conventionnel (Laplace et al., 1985) - **BFSY** : Bactéries de fèces de porcs consommant un régime semi-synthétique (Laplace et al., 1985) - **BFST** : Bactéries de fèces de porcs consommant un régime standard (Laplace et al., 1985) - **COLI** : Escherichia Coli (Laplace et al., 1985) - **BI** : Bactérie iléale de porc consommant un aliment standard (Dugan et al., 1994) - **NFEC1** : Azote fécal métabolique (Mason et al., 1976) - **NFEC2** : Azote fécal métabolique (Mason et al., 1976) - Le profil de ces protéines est donné au ***Tableau 26 (p 101)***.. Variables supplémentaires ne participant pas à l'élaboration des axes : Xnap : groupe d'animaux X, stade n, animal p

Tableau 30 : Comparaison du niveau moyen d'excrétion azotée endogène basale (g/kg MSI) obtenu dans notre étude aux valeurs proposées par Bastianelli (1996) pour des animaux recevant un aliment protéiprive

	Bastianelli (1996)				Nos données			
	m	e.t	CV (%)	n	m	e.t	CV (%)	Δ (%)
N	2.338	0.958	41	55	1.145	0.204	18	51
ΣAA	8.89	-	-	-	3.969	0.778	20	55
Lys	0.467	0.191	41	42	0.261	0.064	24	44
Thr	0.623	0.201	32	48	0.253	0.061	24	59
Met	0.127	0.055	43	42	0.086	0.025	29	32
Cys	0.188	0.078	41	17	0.104	0.017	16	45
Trp	0.154	0.039	25	10	0.081	0.014	18	48
Ala	0.598	0.227	38	49	0.293	0.065	22	51
Arg	0.514	0.211	41	51	0.201	0.05	25	61
Asp	0.903	0.323	36	48	0.413	0.087	21	54
Glu	1.036	0.433	42	51	0.511	0.11	22	51
Gly	1.291	0.686	53	50	0.405	0.141	35	69
His	0.218	0.086	39	48	0.088	0.018	20	59
Ile	0.365	0.151	41	52	0.193	0.043	22	47
Leu	0.586	0.191	33	51	0.297	0.061	21	49
Phe	0.402	0.178	44	46	0.165	0.05	30	59
Ser	0.588	0.228	39	47	0.247	0.056	23	58
Tyr	0.316	0.125	40	38	0.11	0.038	35	65
Val	0.514	0.197	38	51	0.261	0.061	23	49

m : moyenne ; et : écart type ; coefficient de variation (%) ; n : nombre d'observations ; Δ : différence entre la valeur proposée par Bastianelli (996) et la moyenne de nos 20 observations

Tableau 31 : Profil de la protéine endogène[1] : comparaison aux données de la littérature

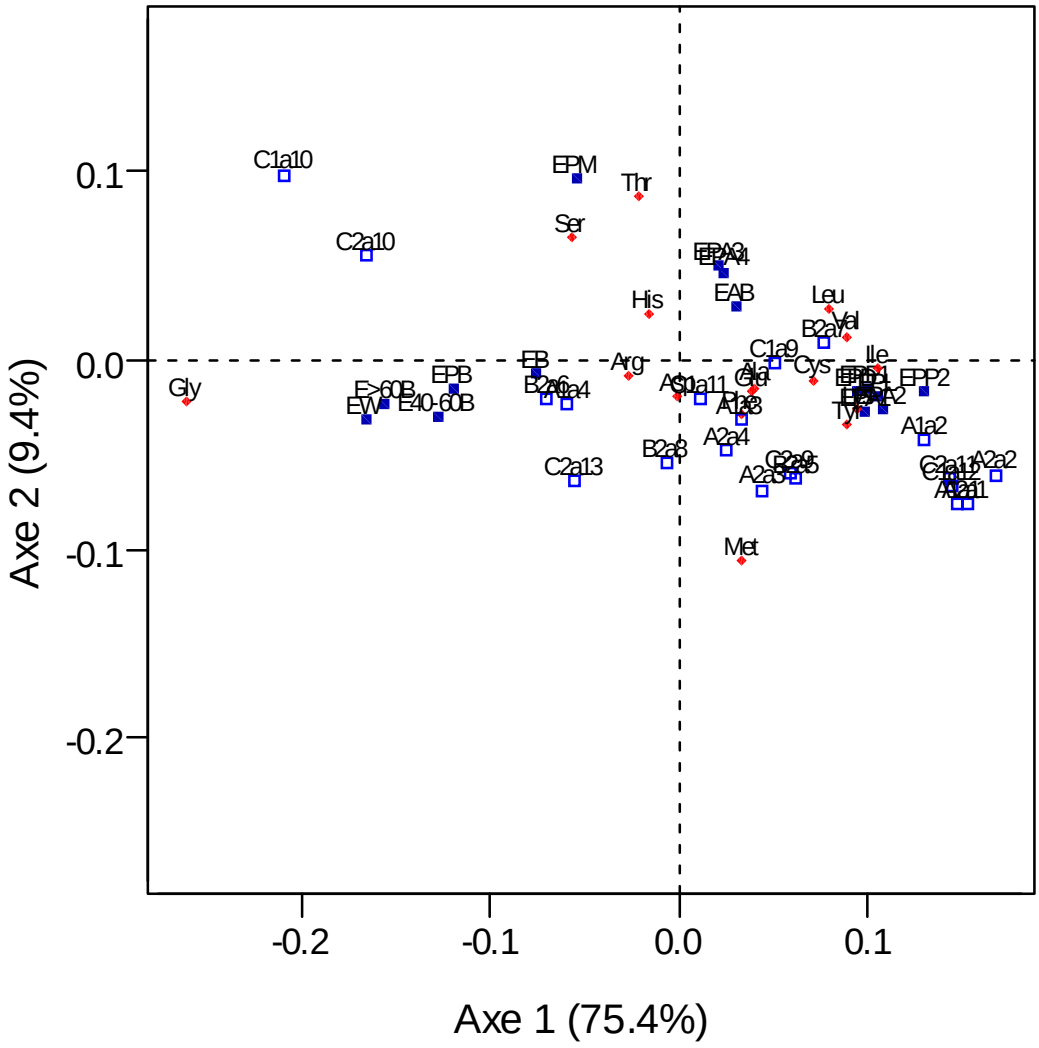
Référence	Composition de l'aliment protéiprive	Techn.	χ^2.
EPP1	amidon, sucre	AIRTT	24
EPP2	amidon, sucre	AIRTL	34
EPD	amidon, 6% cellulose	ICPV	36
EPA1	amidon, sucre, cellulose de bois (MSI : 1000 g/j)	AIRTL	27
EPA2	amidon, sucre, cellulose de bois (MSI : 1400 g/j)	AIRTL	27
EPA3	amidon, sucre, cellulose de bois (MSI : 1000 g/j)	AIRTT	34
EPA4	amidon, sucre, cellulose de bois (MSI : 1400 g/j)	AIRTT	40
EPM	amidon, 4.2% cellulose papier	AIRTT	48
EPL	amidon (81.4%), sucre (4.3%), huile (2.9%), cellulose papier (4.3%)	AIRTT	20
EW			79
EB			41
EAB			36
EPB			53
E40-60B			60
E>60B			87

[1] moyenne de nos 20 observations

Technique chirurgicale - AIRTT : anastomose iléo-rectale termino-terminale - AIRTL : anastomose iléo-rectale termino-latérale - ICPV : fistulation iléo-colique post-valvulaire

EPP1 : Endogène protéiprive (Picard et al., 1984) ; **EPP2** : Endogène protéiprive (Picard et al., 1984) ; **EPD** : Endogène protéiprive (Darcy et al., 1982) ; **EPA1** : Endogène protéiprive (Auclair, 1986) ; **EPA2** : Endogène protéiprive (Auclair, 1986) ; **EPA3** : Endogène protéiprive (Auclair, 1986) ; **EPA4** : Endogène protéiprive (Auclair, 1986) ; **EPM** : Endogène protéiprive (Mariscal-Landin, 1992) ; **EPL** : endogène protéiprive (Lechevestrier, 1996) ; **EW** : endogène (Wünsche et al., 1987) ; **EB** : endogène (Bastianelli, 1996) ; **EAB** : endogène anastomose (Bastianelli, 1996) ; **EPB** : endogène protéiprive (Bastianelli, 1996) ; E40-60B : endogène animaux de poids compris entre 40 et 60 kg (Bastianelli, 1996) ; **E>60B** : endogène animaux de poids supérieur à 60 kg (Bastianelli, 1996)

Figure 16 : Comparaison du profil de la protéine contenue dans les digesta des porcs après l'ingestion de l'aliment protéiprive à celui de protéines endogènes de la littérature (analyse factorielle des correspondances)



EPP1 : Endogène protéiprive (Picard et al., 1984) ; **EPP2** : Endogène protéiprive (Picard et al., 1984) ; **EPD** : Endogène protéiprive (Darcy et al., 1982) ; **EPA1** : Endogène protéiprive (Auclair, 1986) ; **EPA2** : Endogène protéiprive (Auclair, 1986) ; **EPA3** : Endogène protéiprive (Auclair, 1986) ; **EPA4** : Endogène protéiprive (Auclair, 1986) ; **EPM** : Endogène protéiprive (Mariscal-Landin, 1992) ; **EPL** : endogène protéiprive (Lechevestrier, 1996) ; **EW** : endogène (Wünsche et al., 1987) ; **EB** : endogène (Bastianelli, 1996) ; **EAB** : endogène anastomose (Bastianelli, 1996) ; **EPB** : endogène protéiprive (Bastianelli, 1996) ; E40-60B : endogène animaux de poids compris entre 40 et 60 kg (Bastianelli, 1996) ; **E>60B** : endogène animaux de poids supérieur à 60 kg (Bastianelli, 1996)
Variables supplémentaires ne participant pas à l'élaboration des axes : Xnap : groupe d'animaux X, stade n, animal p

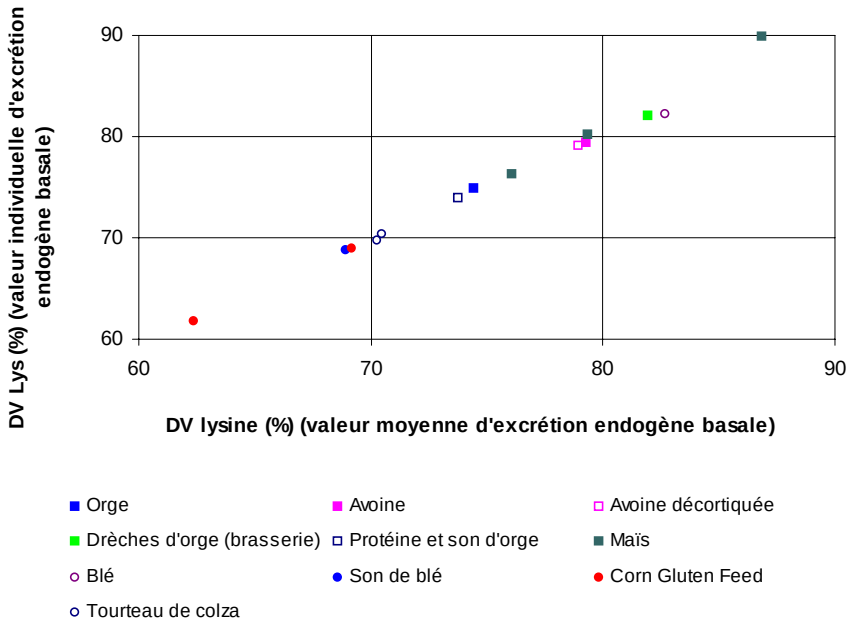
Tableau 32 : Effet du mode de calcul (valeur moyenne ou valeurs individuelles d'excrétion endogène basale) de la digestibilité vraie sur la comparaison de diverses matières premières entre elles

Groupe	A						C					
Calcul	Moyenne			Individuelle			Moyenne			Individuelle		
	MP[1]	A[1]	ETR[2]	MP	A	ETR	MP	A	ETR	MP	A	ETR
N	***	NS	2.5	***	NS	2.9	**	NS	6.4	**	NS	6.5
Lys	***	NS	3.4	***	NS	4.3	***	NS	4.4	***	NS	4.4
Thr	***	NS	2.8	***	NS	3.2	**	NS	4.1	**	NS	4.0
Met	***	NS	2.4	***	NS	2.8	NS	NS	3.8	NS	NS	3.7
Cys	***	**	1.8	***	*	2.1	***	NS	6.2	***	NS	6.2
Trp	***	NS	5.1	***	NS	6.0	***	NS	3.9	***	NS	4.2
Ala	***	NS	3.5	***	NS	3.6	0.06	NS	5.3	0.06	NS	5.3
Arg	***	NS	3.3	***	NS	3.4	**	NS	2.6	*	NS	2.8
Asp	***	NS	3.0	***	NS	3.5	**	NS	4.2	**	NS	4.3
Glu	***	NS	2.0	***	NS	2.2	***	NS	3.0	***	NS	3.1
Gly	***	NS	4.3	***	NS	5.5	**	NS	6.9	**	NS	6.9
His	***	NS	2.8	***	NS	2.9	***	NS	3.5	***	NS	3.6
Ile	***	NS	2.8	***	NS	3.2	***	NS	3.3	***	NS	3.4
Leu	***	NS	2.3	***	NS	2.5	**	NS	3.5	**	NS	3.6
Phe	***	NS	2.5	***	NS	8.9	**	NS	4.3	*	NS	4.5
Ser	***	NS	2.1	***	NS	2.5	***	NS	3.2	***	NS	3.3
Tyr	***	NS	2.6	***	NS	3.1	*	NS	5.3	*	NS	5.6
Val	***	NS	2.8	**	NS	3.5	***	NS	3.2	**	NS	3.3

[1] MP : effet de la matière première ; A : effet de l'animal
[2] ETR : écart type résiduel
Groupe A : 8 lots de matière première (orge, avoine, avoine décortiquée, drêches d'orge (brasserie), protéine et son d'orge, maïs, maïs, maïs)
Groupe C : 8 lots de matière première (blé, son de blé, tourteau de colza partiellement déshuilé, tourteau de colza déshuilé, corn gluten feed, corn gluten feed, corn gluten feed, corn gluten feed)

Figure 17 : Effet du mode de calcul (valeur moyenne ou valeurs individuelles d'excrétion endogène basale) de la valeur de digestibilité vraie – exemple de la lysine

Groupe A : ■ - Groupe C : ●



III - Ileal digestibility of amino acids and estimates of endogenous amino acid losses in wheat, triticale, rye, barley, maize and sorghum fed to pigs

Catherine Jondreville [a, c], Jan van den Broecke [b], François Gâtel [a,*], François Grosjean [a], Sabine Van Cauwenberghe [b], Bernard Sève [c]

[a] Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 8 avenue du Président Wilson, 75116 Paris, France

[b] Eurolysine, 153 rue de Courcelles, 75817 Paris Cedex 17, France

[c] Institut National de la Recherche Agronomique, Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles, France

Digestibility of amino acids in cereals for pigs

*** Correspondence and reprints**

Tel.: +33 254774810; Fax: +33 254722925; E-mail: fgatel@itcf.fr

Soumis pour publication dans les *Annales de Zootechnies*

Abstract - Forty-three batches of cereals (10 of wheat, 10 of triticale, 5 of barley, 5 of rye, 7 of maize and 6 of sorghum) were analysed and studied for their nitrogen (N) and amino acid (AA) ileal digestibility. Each batch was tested on four castrated male pigs, weighing between 30 and 90 kg, and fitted with an end-to-end ileo-rectal anastomosis. Ileal true digestibility (TD) of AA was calculated by correcting ileal apparent digestibility (AD) for basal endogenous AA losses, measured by means of a protein-free diet. Ileal real digestibility (RD) of AA was calculated by correcting AD for total endogenous AA losses, estimated by a multiple regression model. TD of N and most AA decreased (*P<0.001*) from wheat, triticale and maize, to barley and sorghum and to rye (90.3, 88.7, 89.9, 85.4, 83.7 and 80.1%, respectively, for the sum of all AA). Estimates of endogenous N losses decreased (*P<0.001*) from triticale, sorghum and wheat, to maize, barley and rye (on average 3.10, 2.93, 2.63, 2.43, 2.27 and 2.16 g N/kg DM ingested, respectively). Barley excluded, there was a trend toward increasing endogenous AA losses with increasing dietary acid detergent fibre (ADF) concentration (r=0.57, *P<0.001*). Barley caused low endogenous N losses relative to its ADF concentration.

cereal / ileal digestibility / endogenous losses / nitrogen / amino acid / pig

Résumé - Digestibilité iléale des acides aminés et estimation des pertes azotées endogènes chez le porc en croissance alimenté à base de blé, de triticale, de seigle, d'orge, de maïs ou de sorgho. Quarante-trois lots de céréales (10 de blé, 10 de triticale, 5 de seigle, 5 d'orge, 7 de maïs et 6 de sorgho) ont fait l'objet d'une analyse chimique et d'une mesure de la digestibilité iléale de l'azote (N) et des acides aminés (AA). Chaque lot a été testé sur quatre porcs, mâles, castrés, préparés en anastomose iléo-rectale termino-terminale et pesant entre 30 et 90 kg. La digestibilité iléale vraie (DV) a été calculée en corrigeant la digestibilité iléale apparente (DA) de l'excrétion endogène basale d'AA, mesurée au moyen d'un aliment protéiprive. La digestibilité iléale réelle (DR) a été calculée en corrigeant la DA de l'excrétion endogène totale d'AA, estimée par régression multiple. Les DV les plus élevées (*P<0.001*) ont été mesurées pour le blé, le triticale et le maïs (respectivement 90.3, 88.7, 89.9% pour la somme des AA) et les plus faibles pour le seigle (80.1% pour la somme des AA). L'orge et l'avoine présentaient des DV intermédiaires (respectivement 85.4 et 83.7% pour la somme des AA). Les pertes endogènes d'azote les plus élevées (*P<0.001*) ont été estimées pour le triticale, le sorgho et le blé (respectivement 3.10, 2.93 et 2.63 g N/kg matière sèche ingérée (MSI)) et les plus faibles pour le maïs, l'orge et le seigle (respectivement 2.43, 2.27 et 2.16 g N/kg MSI). Orge exclue, les pertes endogènes d'N augmentaient avec la teneur en acid dertergent fibre (ADF) de l'aliment (r=0.57, *P<0.001*). L'excrétion endogène d'azote entraînée par l'ingestion d'orge était faible par rapport à sa teneur en ADF.

Céréale / digestibilité iléale / pertes endogènes / azote / acide aminé / porc

III - Ileal digestibility of amino acids and estimates of endogenous amino acid losses in wheat, triticale, rye, barley, maize and sorghum fed to pigs

A - INTRODUCTION

Nitrogen (N) and amino acid (AA) ileal digestibility in cereals for pigs was previously widely studied by many authors [24, 25, 28, 42, 45, 60]. Data are expressed as ileal apparent, true or real digestibility. Ileal apparent digestibility (AD) values may be strongly biased by the N and AA content of the experimental diet [22]. The calculation of ileal true digestibility (TD), by correcting AD for basal endogenous losses, is necessary to overcome this methodological problem and get additive values of digestible AA supply [25, 69]. The resulting ileal standardised or true digestibility (TD) values have been widely used for practical feed formulation [14, 55, 59, 62]. However, there is evidence that total largely exceed basal endogenous gut N losses. Even corrected for basal endogenous N losses, ileal N thus contains variable amounts of specific endogenous N, depending on the characteristics of the feedstuff [16, 27]. Correction of AD for total endogenous losses leads to ileal real digestibility (RD) according to the terminology proposed by Low [47].

Because 70 to 80% of endogenous secretion are digested and re-absorbed, they largely exceed the observed ileal losses. Moreover, it is established that production of endogenous gut N involves additional energy and AA costs [56, 69]. In this respect, the evaluation of dietary factors affecting endogenous N losses have recently received considerable attention. However, only few authors reported such information for cereals [16, 40, 44, 57].

The current study is part of a more extensive work on ileal digestibility of N and AA in pig feeds [36]. The aim was to determine TD of N and AA and to estimate endogenous gut N losses in various samples of wheat (W), triticale (T), rye (R), barley (B), maize (M) and sorghum (S) in order to 1. rank the cereal species and 2. identify dietary factors that contribute to variability in digestibility values and endogenous gut N losses between samples.

B - MATERIALS AND METHODS

B.1 - Feedstuffs and experimental diets

Forty-three batches of cereals (10 of wheat, 10 of triticale, 5 of barley, 5 of rye, 7 of maize and 6 of sorghum) were studied. Either of pure or mixed cultivars, they were selected in order to be representative of cereal batches used for feed in Europe. All originated from Europe and most of them (thirty-seven) from France. The cultivars are given in *Table I*. Feedstuffs were ground in a hammer mill fitted with a 2 mm screen. Per kg, each diet contained 945 g cereal and 55 g of a mineral and vitamin concentrate providing sufficient amounts mineral and vitamin to compensate for the loss of the function of the large intestine [75] (*Table I*).

B.2 - Animals and procedures

Animals were castrated male pigs, pure bred Large white or (Large White x Landrace) x (Large White x Pietrain). They were surgically prepared with an end-to-end ileo-rectal anastomosis [38, 58] at a live weight of 25 to 30 kg. Pigs were allowed a four-week recovery period following surgery, and then entered a twelve-week period during which digestibility measurements were made. The experiments lasted from 1990 to 1996 and involved the use of thirteen groups of four pigs, made as similar as

possible on the basis of age and live weight of the pigs. Each batch of cereal was fed to the four pigs of only one group and at one period; both group and period were selected at random. Therefore, it was assumed that age, live weight or time effects did not influence observed digestibility values.

Animals were fed twice daily (8 a.m. and 4 p.m.) a diet in meal form mixed with water at the time of feeding (2 volumes water/1 volume meal). Drinking water was continuously available. The feeding scale was set at 90 g meal per kg metabolic weight (Live Weight $^{0.75}$). Every week, the feed allowance was individually adjusted, based on live weight values and their expected increases at four-week intervals.

Experimental diets were fed for seven days [28]: an adaptation period of five days followed by a two-day collection period. This combination of adaptation and collection periods was among those which allowed the most accurate measurement of N excretion by pigs fitted with an end-to-end ileo-rectal anastomosis [49]. During the latter period, ileal digesta was collected quantitatively in a plastic reservoir, twice a day, just after meal, and immediately stored at 4°C. At the end of the collection period, ileal digesta was pooled per animal, homogenised, and two samples were taken: one was oven-dried (80°C for 72 hours) for dry matter determination, and the other one was freeze-dried prior to analysis.

B.3 - Chemical analyses

All chemical analyses were performed in duplicate as previously described [37]. Each batch of cereal, each diet and each pooled sample of ileal digesta was analysed for N and AA content. The N content was measured by the Kjeldahl method. The AA content was determined by chromatography in a ion exchange column, after a 23-hour hydrolysis in HCl 6 N at 110°C. The sulphur AA content was determined using performic oxidation hydrolysis. Tryptophan was determined by HPLC followed by fluorometric detection, after hydrolysis in an alkaline solution (baryum hydroxide) at 125°C for 16 hours.

For each sample of cereal, the dry matter (DM), ash, Neutral Detergent Fibre (NDF), Acid Detergent Fibre (ADF) and Acid Detergent Lignin (ADL), crude fibre (CF), fat and starch contents were determined. NDF, ADF and ADL determinations were sequentially carried out. CF was determined according to the Weende method, and starch according to the Ewers method. Fat was measured without hydrolysis prior to analysis. The N content of the NDF residue (NNDF) was evaluated by the successive analysis of NDF and N; it was determined for each batch of cereal except for 5 batches of triticale. The water extract viscosity was measured by means of a capillary viscosimeter (AVS 310, Schott Geräte, Germany). To get the water extract, a suspension of ground grain in water was centrifuged (10 minutes, 5000 g) at room temperature. The supernatant was heated at 100°C, centrifuged (5 minutes, 5000 g), filtrated over a 0.45µm membrane and stored at 0°C [29]. The water extract relative viscosity (WERV) was calculated as the ratio of the cereal water extract falling time to the de-ionised water falling time. The soluble arabinoxylans (Sol. AX) concentration was measured by colorimetry [61] by means of a colorimeter (Evolution II, Alliance Instrument, France). The Soluble β-glucans (Sol. β-gluc.) content was measured after enzymatic hydrolysis [50], by measuring the absorbance at λ=0.510 µm (UVIKON 930, Kontron Instrument, France). In sorghum, tannins content

determination was based on the reaction between ferric (III) ammonium citrate and polyphenols, after extraction by dimethylformamide. The concentration was measured by spectrophotometry (λ=0.525 µm) (UVIKON 930, Kontron Instrument, France), taking tannic acid as standard [1].

B.4 - Calculations

B.4.1 - Estimates of endogenous gut AA losses

First, the proportions of endogenous and of dietary proteins in ileal digesta were estimated according to a mathematical model. This model allows to calculate the proportions of different 'reference' proteins in a mixture, from their AA profiles [19]. The method combines a multiple regression analysis, without intercept, and the calculation of the deviation between the actual and expected AA composition of a mixture of proteins by means of a chi-square (χ^2) value. It was previously used to calculate the proportions of endogenous and exogenous proteins in ileal digesta from pigs fed different feedstuffs [41] and provided estimates comparable to measured values obtained by ^{15}N dilution using an intravenous ^{15}N-L-Leucine infusion [67].

A combination of the n following equations was used to estimate the contributions of various 'reference' proteins in digesta protein collected from the distal ileum:

$AA_{1,digesta} = x_1\ AA_{1,P1}+\ldots+\ldots+x_k\ AA_{1,Pk}+\ldots\ldots+x_m\ AA_{1,Pm}$

.

.

$AA_{i,digesta} = x_1\ AA_{i,P1}+\ldots+x_k\ AA_{i,Pk}+\ldots\ldots+x_m\ AA_{i,Pm}$

.

.

$AA_{n,digesta} = x_1\ AA_{n,P1}+\ldots+x_k\ AA_{n,Pk}+\ldots\ldots+x_m\ AA_{n,Pm}$

n=16: number of assayed amino acids

$AA_{i,digesta}$: % of AA i in digesta protein

P_k: 'reference' protein k

$AA_{i,Pk}$: % of AA i in 'reference' protein k

x_1, x_k …. x_m: regression coefficients of the actual AA profile when regressing digesta protein on the 'reference' proteins $P_1 \ldots P_m$.

In order to assign the same weight to each AA, the square-root of the AA proportions in digesta protein were considered as dependent variables, the ratio of AA proportions in 'reference' proteins to this square-root being considered as independent variables. The χ^2 value, representing the extent of the agreement between the actual and the expected AA composition of digesta protein was calculated as follows:

$$\chi^2 = n \times \sum_{i=1}^{n} \frac{(AAi,\ digesta\ - AAi,\ mixture)^2}{(AAi,\ digesta\ + AAi,\ mixture)/2}$$

$AA_{i,digesta}$: % of AA i in actual protein digesta

$AA_{i,mixture}$: % of AA i in the mixture of 'reference' proteins

The AA compositions of the various proteins were expressed as percentages of the sum of the analysed AA contents. For the calculations, tryptophan, not determined in residual protein of NDF, and proline, not determined in our AA analyses, were not considered. The endogenous protein, whole dietary protein and residual protein of NDF were used as 'reference' proteins. The AA composition of the endogenous protein is given in *Table IV.* It was derived from the determination of basal endogenous AA losses (Bendo), previously performed in our laboratory (unpublished results), using twenty pigs prepared and managed according to the above described procedure and fed a protein-free diet made of maize starch (58%), sucrose (30%), wood cellulose (3.5%) and the mineral and vitamin mixture used for experimental diets (5.5%). The AA composition of the protein of

NDF for each species was available in literature [40, 68]. Regression analyses were performed using the STEPWISE procedure of the MINITAB statistical software [52].

Total endogenous AA losses (g/kg DMI) were calculated as follows :

Tendo = x_{Endo} * Texcreted

Tendo: estimates of total endogenous AA losses (g/kg DMI)

x_{Endo} :estimated proportion of endogenous protein in the digesta protein

Texcreted = total AA excretion with digesta (g/kg DMI)

B.4.2 - Digestibility calculation

Ileal apparent digestibility (AD) was calculated from N and AA concentrations in diets and in ileal digesta. For ileal true digestibility (TD) calculation, it was corrected for basal endogenous AA losses (Bendo) [47]. The assumption was made that basal endogenous losses were directly related to DM intake (DMI):

TD = AD + Bendo (g/kg DMI)*100/AA ingested (g/kg DMI)

This correction of AD to TD was aimed at reducing the effects of N and AA content of the experimental diets on digestibility values [22, 69].

Real ileal digestibility (RD) was calculated by correcting AD for total endogenous AA losses (Tendo) (g/kg DMI) [47]:

RD = AD + Tendo (g kg^{-1} DMI)*100/AA ingested (g/kg DMI)

B.5 - Data analysis

The effect of the batch (B) on total endogenous AA losses (g/kg DMI), as well as on TD and RD of N and AA was first analysed within each cereal species. An overall analysis of variance was performed to evaluate the effect of the species relative to the residual variation between batches. The overall model included the following items: the cereal species (S) and the batch nested within species B(S). The effect of species (S) was tested against batch nested within species (B(S)). A Tukey's Studentized Range test was used for comparison of means. Analyses of variance were performed using the GLM procedure of the SAS statistical software [63].

C - RESULTS

The average live weights of pigs fed wheat, rye and sorghum were in the same range (44 to 69 kg). It was slightly lower for triticale (34 to 55 kg), higher for barley (57 to 80 kg) and more variable for maize (39 to 85 kg).

C.1 - Chemical characteristics of the cereal batches

Both the fibre (NDF, ADF, ADL, CF) concentration and its variability between batches increased from sorghum and maize to wheat, triticale and rye, and to barley (*Table I*). The lowest N concentrations were measured for rye, maize and sorghum. The proportion of the total N located in the NDF residue (NNDF) was almost two times higher in rye than in maize (13.2 and 6.8% of the total N, respectively). This proportion was on average 9% for the other species, with a high variability within species. The average soluble arabinoxylans concentration in rye was roughly two times higher than in wheat and triticale (13.7, 5.5 and 6.1 g/kg DM, respectively). The soluble β-glucans content of barley ranged from 10.5 to 24.4 g/kg DM. Water extract relative viscosity increased from maize and sorghum (1.0 to 1.1) to wheat and triticale (1.6 and 1.9, respectively) and to barley and rye (5.7 and 5.8, respectively). All the sorghum batches were tannin-free (<0.5 g tannins /kg DM).

Whatever the cereal considered, tryptophan, methionine, cystine and histidine were among scarce amino acids in the grain (*Table II*). Glutamic acid displayed by far the highest concentration, followed, although to a lesser extent, by leucine and aspartic acid. Leucine concentration was particularly high in maize and in sorghum.

C.2 - Estimates of endogenous N losses

For all the batches of cereal, except those of sorghum, the introduction of endogenous protein with protein bound to NDF in the model allowed to minimise the χ^2 distance between the actual and the expected proteins. Except for one batch of wheat and four of triticale, both endogenous protein and protein bound to NDF were introduced (*P<0.05*) in the model. For the six other samples the probability for the introduction of protein bound to NDF in the model was below 0.10 (results not shown). For the sorghum batches, both the dietary protein and the protein bound to NDF were introduced in the model (*P<0.01* and *P<0.05*, respectively), but the χ^2 distance was minimised with the dietary protein (χ^2=3 to 84 *vs* 45 to 131). The estimated proportion of endogenous protein in digesta protein reached an average of 70% for triticale, 65% for maize, 60% for wheat, 55% for sorghum and 40% for rye and barley.

Differences (*P<0.05*) between batches for endogenous AA losses (g/kg DMI) were observed in wheat, barley and maize only (results not shown). Clear effects (*P*<0.001) of the species were detected (*Table IV*). The highest estimates were calculated for triticale (10.7 g/kg DMI), and the lowest for maize, barley or rye (8.44, 7.88 and 7.50 g/kg DMI, respectively). Intermediate estimates were calculated for wheat and sorghum.

C.3 - TD and RD of N and AA

Batches differed *(P<0.05)* for TD of most AA in all species and for RD of most AA in all species except rye and sorghum (results not shown). An effect (*P*<0.001) of the species was observed for TD and RD of all AA (*Table II* and *Table IV*). Both TD and RD of N and most AA decreased from wheat, triticale and maize to sorghum and barley, and to rye. In wheat, triticale and maize, the TD and the RD of sum of all AA reached an average of 90% and 95%, respectively. Both TD and RD decreased by 5 units to sorghum and barley and by 5 additional units to rye.

D - DISCUSSION

D.1 - Chemical characteristics

Our results were consistent with the variation in major components within whole grain cereals previously observed [2, 3, 4, 21, 24, 31, 51]. According to these authors, in addition to variety, location, crop husbandry and year of harvest may influence the composition of cereals.

In agreement with data reported in literature [2, 4], soluble β-glucans were minor constituents of wheat and maize, whereas their concentration was slightly higher in rye and reached the maximum level in barley. The increase in soluble arabinoxylans concentration from maize to wheat and barley and to rye also was previously reported. The ranking of the different cereal species for water extract relative viscosity, and the range of variability within cereal species fitted with previous observations [30]. The low levels of tannins in the sorghum batches was in accordance with the results obtained for most cultivars nowadays grown in Europe [31, 51]. All the cereal batches matched globally the AA concentrations provided in the European Amino Acid Table [73].

D.2 - True digestibility values and estimates of endogenous AA losses

The manner in which the digestibility measurements were obtained raises the question of the impact of the characteristics of the groups of growing pigs on differences between samples. The growing pigs were housed in the same environment and fed at constant levels of DMI. In such conditions, there is no indication in the literature of factors causing significant variation in ileal digestibility of the AA other than those associated with changes in dietary components.

The feedstuffs were tested within a relatively large range of live weight. Long term effects of end-to-end ileo-rectal anastomosis, such as histological changes in the ileum and increased concentration of volatile fatty acids in the digesta were reported [23]. However, these changes may affect ileal digestibility of organic matter and particularly that of fibre, but not that of N and AA [7, 23, 39]. However, endogenous N losses (g/kg DMI) may decrease with the increase in the animal LW between 45 and 80kg [32, 33]. Possibly, this decrease occurred in our study and biased the ranking of species. In particular, the average estimates of endogenous AA losses for triticale, offered to 34 to 55 kg pigs, may have been overestimated compared to the other species.

The method we used for estimating endogenous AA losses relied on the assumption that the AA composition of the endogenous protein was constant, regardless of the dietary characteristics. However, dietary factors may cause changes not only in the amount of endogenous AA losses, but also in their AA composition. In particular, any change in bacterial N flow, which contributes to 20 to 50% of ileal N recovered at the end of the ileum of pigs fed cereal-based diets [17, 18, 68], may cause changes in the AA composition of the digesta protein [10], and therefore, bias the estimates of endogenous losses.

A similar ranking of cereal species for ileal digestibility of AA was previously reported [16, 24, 25, 28, 40, 42, 65, 66]. However, unlike our results, higher digestibility values in rye than in barley [60] and similar or even greater digestibility values in sorghum than in maize [45, 64, 71] also were reported. The variability between batches possibly encountered within a cereal species [24, 43, 48, 66, 71] may partly explain contradictory results across studies.

Endogenous N losses for the wheat, triticale, rye, barley, maize and sorghum based diets were estimated at 2.63, 3.10, 2.16, 2.27, 2.43 and 2.93 g/kg DMI, respectively. By means the same method, similar estimates of endogenous N losses were obtained with wheat, rye, barley and maize based diets offered to growing pigs (2.85, 2.60, 2.60 and 3.14 g/kg DMI) [40]. Using the homoarginine method, similar endogenous N losses (2.77 g/kg DMI) were calculated in 25-49 kg pigs fed a 93% barley diet [57]. However, higher endogenous N losses were measured by intravenous ^{15}N dilution using ^{15}N-L-Leucine infusion, for pigs fed 94% wheat and barley diets (4.38 and 4.43 g/kg DMI, respectively) [16] and for pigs fed a 90% barley diet (6.4 g/kg DMI) [44]. The possible overestimation of N endogenous losses when measured by the N isotope dilution technique may explain part of these discrepancies [44].

The average basal endogenous N losses we calculated from 20 individual measurements were almost two times lower than the values proposed in a literature review [74]. However, they remained in the reported range of variation (2.22 ± 0.88 g N kg^{-1}DMI). Estimates of N and endogenous AA losses (g/kg DMI) exceeded the

basal endogenous losses by 1.9 times, for rye, to 2.7 times, for triticale (*Table IV*). This confirms that specific endogenous AA are lost by pigs when they are offered feedstuffs based diets, compared to protein-free diets [56, 69]. As a consequence, RD values exceeded TD values. The difference, which represents the specific endogenous AA losses as percentage of the AA content of the diet, ranged, for the sum of all AA, between 3.9 and 7.2 units for barley and triticale, respectively.

D.3 - Dietary factors affecting ileal digestibility and endogenous gut losses of N and AA

The partitioning of AA in digesta protein suggests that protein present in the NDF fraction of all cereals, except sorghum, is only partially digested and absorbed prior to the end of the ileum. This may be caused by the restricted access of digestive enzymes to protein encapsulated by fibre [68, 70]. Only 60% of N bound to NDF extracted from wheat bran was reported to be digested at the end of the ileum of growing pigs [68]. The current study, leads to calculate that, on average 60% of N in NDF was digested before the end of the ileum in wheat and triticale, 45% in maize, and less than 20% in rye and barley. The high proportion of N bound to NDF in rye (*Table I*) and the presence of three layers in the aleurone of barley [71, 21] could be plausible factors contributing to the low TD and RD values in these species. This phenomenon may also explain the overall low TD and RD of lysine. Indeed, the functional proteins (albumins and globulins), rich in lysine, are located in the most fibrous part of the grain (aleurone cells) [12].

Endogenous AA losses (g/kg DMI) increased with the dietary ADF concentration (g/kg DM) in wheat (r=56, *P<0.10*), and with the dietary NDF or insoluble hemicelluloses (NDF-ADF) concentrations in barley (r=0.91, *P<0.05* and r=0.98, *P<0.01*, respectively). Barley excluded, endogenous AA losses increased with ADF content of the diet (r=0.57, *P<0.001*) (*Figure 1*). An increase in endogenous N losses with dietary fibre (NDF) concentration was previously observed with pigs fed semi-synthetic diets [49, 68]. Many mechanisms may be involved: the direct stimulation of digestive secretion, the enhanced sloughing of epithelial cells, a modification of the rate of re-absorption or the alteration of the rate of passage through the intestinal tract [56]. Expressed in g/kg CF ingested, lower endogenous N losses in pigs fed barley than wheat were previously reported [9, 16]. Lignin proportion in ADF is higher for wheat, triticale and rye than for barley (28 vs 15% ADF) (*Table I*). Thus, fibre originating from wheat, triticale and rye may have been a more effective source in increasing the ileal endogenous flow, either because of a more pronounced mechanical effect enhancing the cells sloughing or because of the adsorption capacities of lignin, which may limit the availability of some endogenous AA for absorption [6], or both.

TD of AA and the analytical characteristics of the diets were scarcely correlated. However, in triticale, TD of most AA decreased as CF and ADF contents of the diet increased (r=-0.82 (*P<0.01*) and r=-0.73 (*P<0.05*) for the sum of all AA, respectively). In wheat, TD of some AA and CF content of the diet were correlated (r=-0.70 for the sum of all AA, *P<0.05*). In sorghum, TD of most AA decreased as the ADL content of the diet increased (r=-0.92 for the sum of all AA, *P<0.01*). This probably reflected the deleterious effect of fibre on TD of N and AA through an increase in endogenous N losses and in the undigested dietary fraction. However, plant fibre

consists of a number of different components and not only the dietary fibre concentration, but also its properties, probably were involved in the level of recovery of both endogenous and dietary AA at the end of the ileum.

In recent years, special attention has been paid to arabinoxylans, in wheat, triticale and rye, and to β-glucans, in barley. They may restrict the access to intracellular nutrients or raise the viscosity of the luminal content, and thereby limit the physical exposure of substrates to the digestive enzymes and to the intestinal wall [11]. The high amounts of arabinoxylans present in rye may contribute to the low digestibility of N and AA in this species, compared to wheat and triticale [60]. Possibly, they were involved in the restricted access of digestive enzymes to intracellular nutrients, causing a low digestibility of the protein bound to NDF in this species. However, 60 to 70% of the barley grain β-glucans being in a soluble form, they are degraded by the microflora naturally present in the small intestine of growing pigs and would be of little effect on N and AA digestibility [26, 35]. Our results also suggest that these compounds had probably a limited impact, at least on the re-absorption of endogenous secretions in barley. Moreover, our data confirm the previously reported [43] lack of relevance of water extract relative viscosity for predicting ileal digestibility of N and AA in pigs.

Condensed tannins are generally considered responsible for the low nutrients digestibility in high-tannins sorghum compared to maize, as well as for the variability in ileal digestibility of N and AA encountered in this species. These water soluble phenolic coumpounds are able to precipitate proteins either initially in the grain or in the digestive tract of the animal leading to increase in both endogenous and dietary N losses [16, 46, 48, 53]. Because of the analytical method we used, we possibly underestimated the actual tannins content of our sorghum batches [15]. However, it was probably below the threshold level required for a significant effect on the recovery of AA of endogenous or dietary origins at the end of the ileum [54]. Actually, in low-tannins sorghum, protein digestibility would be mainly affected by the structure of prolamins [20]. These proteins being located in the starchy endosperm and making up to 80% of the total protein in the grain [12], this would be consistent with the recovery of the whole dietary protein in the digesta of pigs fed sorghum.

Protease inhibitors, are present in cereals, mainly, barley, rye and triticale [8, 34]. When fed at low concentration, they may induce an increase in endogenous N losses [5]. However, there is no evidence from literature for their significant influence ileal digestibility of AA in cereals fed to pigs [60]. Phytate accounts for 85% of phosphorus stored in cereals. It may form complexes not only with minerals but also with dietary proteins, impairing their digestibility. However, very little complexing between wheat protein and phytate was observed and its deleterious effect on protein digestibility in cereals remains questionable [21, 72].

Finally, the species were ranked in the following order for TD of N and AA: wheat, maize, triticale, barley, sorghum and rye. Differences between species were related to different recoveries of both endogenous and dietary N. Barley, excluded, specific endogenous N losses excreted by pigs fed cereals roughly increased with the dietary ADF concentration. Part of AA encapsulated in fibre represented, in most cases, the dietary undigested fraction. However, further studies on the effects of fibre or protein

intrinsic properties on ileal endogenous and dietary N losses are required to better understand the variability between as well as within species.

Acknowledgements

Some of the results were obtained with the financial support of the Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (ACTA programme) and the European Commission (CAMAR CT 91-0112). The work was performed in collaboration with MENGVOEDER UT-DELFIA (NL), SUOMEN REHU (SF) and SANOFI SANTE NUTRITION ANIMALE (F). The authors wish to thank the staffs of the ITCF pig unit research, the ITCF laboratory, the ITCF methods department and the EUROLYSINE laboratory for their technical assistance. They gratefully acknowledge R. PINOT (SANOFI SANTE NUTRITION ANIMALE, F), D. SAUVANT (Institut National Agronomique de Paris-Grignon, F) and G. RYCHEN (Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, Nancy, F) for their advise in preparing this paper.

E - REFERENCES

[1] AFNOR. Dosage des tanins. NF V 03-751. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense, 1985.

[2] Aman P., The variation in chemical composition of Swedish wheat, Swed. J. Agric. Res. 18 (1988) 27-30.

[3] Aman P., Hesselman K., Tilly A.C., The variation in chemical composition of Swedish barley, J. Cereal Sci. 3 (1985) 73-77.

[4] Bach Knudsen K.E., Carbohydrates and lignin content of plant materials used in animal feeding, Anim. Feed Sci. Technol. 67 (1997) 319-338.

[5] Barth C.A., Lunding B., Schmitz M., Hagemeister H., Soybean trypsin inhibitor(s) reduce absorption of exogenous and increase loss of endogenous protein in miniature pigs, J. Nutr. 123 (1993) 2195-2200.

[6] Bergner H., Lück M., Müller J., Untersuchung zur Sorption von Aminosaüren an Diätkomponenten, Arch. Tierernähr., Berlin 31 (1981) 265-271.

[7] Bodin J.C., McMillan E., Maillard R., van Kempen T., Williams P.E.V., Effect of time post-surgery on the measurement of ileal digestibility in ileal rectal anastomosed pigs, in: Proc. British Soc. Anim. Sci., Scarborough, UK, March 1998, p 168.

[8] Boisen S., Protease inhibitors in cereals. Occurence, properties, physiological role and nutritional influence, Acta Agric. Scand. 33 (1983) 369-381.

[9] Boisen S., Moughan P. J., Dietary influences on endogenous ileal protein and amino acid loss in the pig: A review, Acta Agric. Scand. Sect. A Animal Sci. 46 (1996) 154-164.

[10] Caine W.R., Tamminga S., Sauer W.C., Verstegen M.W.A., Schulze H., Bacterial contributions to total and endogenous recoveries of nitrogen and amino acids in ileal digesta of newly weaned piglets fed protease-treated soybean meal, Livest. Prod. Sci. 57(1999) 147-157.

[11] Chesson A., Feed enzymes, Anim. Feed Sci. Technol. 45 (1993) 65-79.

[12] Chung O. K., Pomeranz Y.. Amino acids in cereal proteins and protein fractions, in: J. W. Finley; D.T Hopkins (Eds). Digestibility and amino acids availability in cereals and oilseeds. American Association of Cereal Chemists, St-Paul, Minnesota, USA, 1985, pp 65-103.

[13] Cousins B.W., Tanksley T.D. Jr, Knabe D.A., Zebrowska T., Nutrient digestibility and performance of pigs fed sorghum varying in tannin concentration, J. Anim. Sci. 53 (1981) 1524-1537.

[14] CVB. Veevoedertabel 1998. Centraal Veevoederbureau, Lelystad, The Netherlands, 1998.

[15] Daiber K.H., Enzyme inhibition by polyphenols of sorghum grain and malt. J. Sci. Food Agric. 26 (1975) 1399-1411.

[16] de Lange C.F.M., Souffrant W.B., Sauer W.C., Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determined with the ^{15}N-isotope dilution technique, J. Anim. Sci. 68 (1990) 409-418.

[17] Dierick N. A., Decuypere J. A., Vervaeke I. J., Henderickx H. K., Digestion iléale et fécale de la matière sèche, des protéines et des acides aminés de quelques rations conventionnelles pour les porcs à l'engrais, Rev. Agric., Bruxelles 36 (1983) 1713-1726.

[18] Dugan M. E. R., Sauer W. C., Dugan Jr J. M., Caine W. R., Determination of bacterial amino acid contribution to ileal digesta from pigs using 35S and DAPA marker techniques, J. Anim. Feed Sci. 3 (1994) 149-159.

[19] Duvaux C., Guilloteau P., Toullec R., Sissons, J.W, A new method for estimating the proportions of different proteins in a mixture using amino acid profiles: Application to undigested proteins in the preruminant calf. Ann. Zootech. 39 (1990) 9-18.

[20] Elkin R.G., Freed M.B., Hamaker B.R., Zhang Y., Parsons C.M., Condensed tannins are only partially responsible for variations in nutrient digestibilities of sorghum grain cultivars, J. Agric. Food Chem. 44 (1996) 848-853.

[21] Evers A.D., Blakeney A.B., O'Brien L., Cereal structure and composition, Aust. J. Agric. Res. 50 (1999) 629-650.

[22] Fan M.Z., Sauer W.C., Hardin R.T., Lien K.A., Determination of apparent ileal digestibility in pigs: Effect of dietary amino acid level. J. Anim. Sci. 72 (1994) 2851-2859.

[23] Fuller M.F, Methodologies for the measurement of digestion, in: Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, M.W.A. Verstegen, J. Huisman, L.A. den Hartog (Eds), EAAP Publication n°54, Pudoc, Wageningen, The Netherlands, April 24-26, 1991, pp 273-288.

[24] Fuller M.F., Cadenhead A., Brown D.S., Brewer A.C., Carver M., Robinson R., Varietal differences in the nutritive value of cereal grains for pigs, J. Agric. Sci., Cambridge 113 (1989) 149-163.

[25] Furuya S., Kaji Y., Additivity of the apparent and true ileal digestible amino acid supply in barley, maize, wheat or soya-bean meal based diets for growing pigs, Anim. Feed Sci. Technol. 32 (1991) 321-331.

[26] Graham H., Hesselman K., Aman P., Influence of β-glucanase supplementation on digestion of a barley-based diet in the pig gastrointestinal tract, Nutr. Rep. Intern. 34 (1986) 1089-1096.

[27] Grala W., Verstegen M.W.A., Jansman A.J.M., Huisman J., van Leeuwen P., Ileal apparent protein and amino acid digestibilities and endogenous nitrogen losses in pigs fed soybean and rapeseed products, J. Anim. Sci. 76 (1998) 557-568.

[28] Green S., Bertrand S.L., Duron M.J.C., Maillard R.A., Digestibility of amino acids in maize, wheat and barley meal measured in pigs with ileo-rectal anastomosis and isolation of the large intestine, J. Sci. Food Agric. 41 (1987) 29-43.

[29] Grosjean F., Saulnier L., Maupetit P., Beaux M.F., Flatres M.C., Magnin M., Le Pavec P., Victoire C., Variability of wheat and other cereal water extract viscosity. 1. Improvements in measuring viscosity, J. Sci. Food Agric. 79 (1999) 116-122.

[30] Grosjean F., Maupetit P., Beaux M.F., Variability of wheat and other cereal water extract viscosity. 2. Range and causes of variation, J. Sci. Food Agric. 79 (1999) 123-130.

[31] Gualtieri M., Rapaccini S., Sorghum grain in poultry feeding, World's Poult. Sci. J. 46 (1990) 246-254.

[32] Hess V., Sève B., Effects of body weight and feed intake level on basal ileal endogenous losses in growing pigs, J. Anim. Sci., 77 (1999) 3281-3288.

[33] Hodgkinson S.M., Moughan P.J., Reynolds G.M., Effect of live weight on endogenous ileal nitrogen and amino acid excretion in the growing pig, in: Manipulating Pig Production VI. Proc. 6th Biennal Conf. Australasian Pig Sci. Assoc., Cranwell P.D. (Eds), Canberra, ACT, December 7-10, 1997, pp 235-236.

[34] Huisman J., van der Poel A.F.B., Verstegen M.W.A., van Weerden E.J., Antinutritional factors (ANF) in pig production, World Rev. Anim. Prod. 25 (1990) 77-82.

[35] Jensen M.S., Bach Knudsen K.E., Inborr J., Jakobsen K., Effect of β-glucanase supplementation on pancreatic enzyme activity and nutrient digestibility in piglets fed diets based on hulled and hulless barley varieties, Anim. Feed Sci. Technol. 72 (1998) 329-345.

[36] Jondreville C., van den Broecke J., Gâtel F., Van Cauwenberghe S.. Ileal digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs. Eurolysine-ITCF, Paris, France, 1995, 53 pp.

[37] Jondreville C., van den Broecke J., Grosjean F., Van Cauwenberghe S., Gâtel F., Ileal true digestibility of amino acids in wheat milling by-products for pigs, Ann. Zoot. 49 (2000) 1-11.

[38] Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Perez J.P., Henry Y., Giger S., Sauvant D., Associative effect of feeding different protein-free diets between two fibre sources on ileal and overall digestibilities of amino acids, energy and cell-wall components in growing pigs, Br. J. Nutr. 61 (1989) 75-87.

[39] Laplace J.P., Souffrant W.B., Hennig U., Chabeauti E., Février C., Measurement of precaecal dietary protein and plant cell wall digestion in pigs: Comparison of four surgical procedures for ileorectal anastomosis, Livest. Prod. Sci. 40 (1994) 313-328.

[40] Lechevestrier Y., Digestion et absorption des acides aminés dans l'intestin grêle du porc. Effets de la composition des protéines alimentaires, de leurs propriétés physiques et des facteurs antinutritionnels. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon, 1996, 161 pp.

[41] Le Guen M.P., Huisman J., Verstegen M.W.A., Partition of the amino acids in ileal digesta from piglets fed pea protein diets, Livest. Prod. Sci. 44 (1995) 169-178.

[42] Leterme P., Thielemans C., Bodart C., Baudart E., Thewis A., Valeur nutritive et digestibilité apparente iléale et fécale du triticale, du froment et de l'escourgeon chez le porc, Revue de l'Agriculture, Bruxelles 42 (1989) 305-316.

[43] Lewis, F.J., McEvoy, J., McKracken, K.J., Lack of relationship between wheat in vitro viscosity and digestibility parameters for pigs, in: Proc. British Soc. Anim. Sci., Scarborough, UK, March, 1998, p 32.

[44] Lien K.A., Sauer W.C., Mosenthin R., Souffrant W., Dugan M.E.R., Evaluation of the ^{15}N-isotope dilution technique for determining the recovery of endogenous protein in ileal digestion of pigs: Effect of dilution in the precursor pool for endogenous nitrogen secretion, J. Anim. Sci. 75 (1997) 148-158.

[45] Lin F.D., Knabe D.A., Tanksley T.D. Jr, Apparent digestibility of amino acids, gross energy and starch in corn, sorghum, wheat, barley, oat groats and wheat middlings for growing pigs, J. Anim. Sci. 64 (1987) 1655-1663.

[46] Lizardo R., Peiniau J., Aumaitre A., Effect of sorghum on performance, digestibility of dietary components and activities of pancreatic and intestinal enzymes in the weaned piglet, Anim. Feed Sci. Technol. 56 (1995) 67-82.

[47] Low A.G., Digestibility and availability of amino acids from feedstuffs for pigs: a review, Livest. Prod. Sci. 9 (1982) 511-520.

[48] Mariscal-Landin G., Facteurs de variation de l'utilisation digestive des acides aminés chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, 1992, 134 pp.

[49] Mariscal-Landin G., Sève B., Colleaux Y., Lebreton Y., Endogenous amino nitrogen collected from pigs with end-to-end ileorectal anastomosis is affected by the method of estimation and altered by dietary fiber, J. Nutr. 125 (1995) 136-146.

[50] Mc Cleary B.V., Gibson T.S., Allen H., Gams T.C., Enzymic hydrolysis and industrial importance of barley β–glucans and wheat flour pentosans, Starch/Stätke 38 (1986) 433-437.

[51] Métayer J.P., Grosjean F., Castaing J., Study of variability in French cereals, Anim. Feed Sci. Technol. 43 (1993) 87-108.

[52] MINITAB. MINITAB reference manual (release 11), MINITAB Inc., USA, 1996.

[53] Mitaru B.N., Reichert R.D., Blair R., The binding of dietary protein by sorghum tannins in the digestive tract of pigs, J. Nutr. 114 (1984) 1787-1796.

[54] Mosenthin R., Sauer W.C., Lien K.A., de Lange C.F.M., Apparent, true and real protein and amino acid digestibilities in growing pigs fed two varieties of fababeans (Vicia Faba L.) different in tannin content, J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 70 (1993) 253-265.

[55] NRC. Nutrient requirements of swine. 10th rev. Ed. National Academy of Sciences-National Research Council, Washington, DC, 1998, 198 pp.

[56] Nyachoti C. M., de Lange C. F. M., McBride B. W., Schulze H., Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: A review, Can. J. Anim. Sci. 77 (1997) 149-163.

[57] Nyachoti C.M., de Lange C.F.M., Schulze H., Estimating endogenous amino acid flows at the terminal ileum and true ileal amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs using the homoarginine method, J. Anim.Sci. 75 (1997) 3206-3213.

[58] Picard M., Bertrand S., Genin F., Maillard M., Digestibilité des acides aminés: Intérêt de la technique du shunt iléo-rectal chez le porc, Journées Rech. Porcine en France 16 (1984) 355-360.

[59] Rademacher M., Sauer W.C., Jansman A.J.M., Standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. The new system. Degussa-Hüls AG Frankfurt/Main, Germany, 1999, 20 pp.

[60] Rakowska M., Zebrowska T., Neumann M., Medynska K., Raczynska-Bojanowska K., The apparent ileal and fecal digestibilities of amino acids and carbohydrates of rye, barley and triticale grains in pigs, Arch. Anim. Nutr., Berlin 40 (1990) 695-701.

[61] Rouau X., Surget A., A rapid semi automated method for the determination of total and water extractable pentosans in wheat flours, Carbohydrates Polymers 24 (1994) 123-132.

[62] RPAN. Rhodimet™ Nutrition Guide. Formulation des aliments en acides aminés digestibles. 2eme édition. Rhône Poulenc Animal Nutrition, Antony, France, 1993, 54 pp.

[63] SAS. SAS/STAT®, User's Guide (4th Ed., vol 2), SAS Inst. Inc., Cary, NC, 1990.

[64] Sauer W.C., Ozimek L., Digestibility of amino acids in swine: Results and their practical applications. A review, Livest. Prod. Sci. 15 (1986) 367-388.

[65] Sauer W.C., Stothers S.C., Phillips G.D., Apparent availabilities of amino acids in corn, wheat and barley for growing pigs, Can. J. Anim. Sci. 57 (1977) 585-597.

[66] Sauer W.C., Kennelly J.J., Aherne F.X., Cichon R.M., Availabilities of amino acids in barley and wheat for growing pigs, Can. J. Anim. Sci. 61 (1981) 793-802.

[67] Schulze H., Makkink C.A., Le Guen M.P., Verstegen M.W.A, Endogenous N losses as measured by two independent methods, in: Proc. 1st Intern. Symp. on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences, Verstegen M.W.A., den Hartog L.A., van Kempen G.J.M., Metz J.H.M. (Eds), Wageningen, The Netherlands, 8-11 June, 1993, pp 62-69.

[68] Schulze H., van Leeuwen P., Verstegen M.W.A., Huisman J., Souffrant W. B., Ahrens F., Effect of level of Dietary Neutral Detergent Fiber on ileal apparent digestibility and ileal nitrogen losses in pigs, J. Anim. Sci. 72 (1994) 2362-2368.

[69] Sève B., Henry Y., Protein utilization in non ruminants, in: Proc. 7th Symp. on Protein

Metabolism and Nutrition, Nunes A.F., Portugal A.V., Costa J.P., Ribeiro J.R. (Eds), Vale de Santarém, Portugal, 24-27 May 1995, EAAP Pub. n° 81, 1996, pp 59-82.

[70] Sève B., Mariscal-Landin G., Février C., Lechevestrier Y., Prédiction de la digestibilité iléale des acides aminés chez le porc: Le cas des issues de blé, Journées Rech. Porcine en France 26 (1994) 259-266.

[71] Taverner M.R., Hume I.D., Farell D.J., Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 2. Apparent and true ileal availability, Br. J. Nutr. 46 (1981) 159-171.

[72] van Barneveld R.J., Chemical and physical characteristics of grains related to variability in energy and amino acid availability in pigs: A review, Aust. J. Agric. Res. 50 (1999) 667-687.

[73] WPSA. European Amino Acid Table. 1st Edition. Janssen W.M.M.A., Ingelaat F.B.M., Shaper S., McNab J. (Eds), World Poultry Science Association Publication, Beekbergen, The Netherlands, 1992, 123 pp.

[74] Wünsche J., Herrmann U., Meinl M., Hennig U., Kreienbring F., Zwierz P, Einfluss exogener Faktoren auf die präzäkale Nährstoff- und Aminosaürenresorption, ermittelt an Schweinen mit ileo-rektal Anastomosen. 1. Mitteilung: Einfluss des Zerkleinerungsgrades von Getreide, Arch. Anim. Nutr., Berlin 37 (1987) 745-764.

[75] Yin Y.L., Huang R.L., Zhong H.Y., Comparison of ileo-rectal anastomosis and the conventional method for the measurement of ileal digestibility of protein sources and mixed diets in growing pigs, Anim. Feed Sci. Technol. 42 (1993) 297-308.

Tableau 33 : Analytical characteristics of the cereal grains (in g/kg DM except NNDF[1] and WERV[2])

Table I

	N	Fat	CF	Ash	NDF	ADF	ADL	NNDF	Starch	Sol. AX	Sol. β-gluc	WERV
Wheat (n[4]=10)												
m[3]	22.5	19.5	25.8	19.1	126.1	31.3	9.0	9.7	682.6	5.5	1.0	1.6
sd[3]	2.28	5.49	3.43	1.82	16.28	3.69	0.93	1.46	24.80	1.37	0.22	0.25
min[3]	19.9	14.4	22.4	16.1	111.6	26.5	7.3	7.3	618.1	4.0	0.6	1.2
max[3]	27.1	33.9	33.2	21.5	159.3	37.3	10.2	12.7	704.9	7.7	1.2	2.1
Triticale (n=10)												
m	19.0	16.0	26.5	21.1	126.3	32.3	8.6	7.7	684.7	6.1	1.1	1.9
sd	3.00	0.91	3.46	1.34	13.59	3.79	1.48	1.54	19.13	1.20	0.35	0.41
min	15.0	14.3	19.9	18.7	103.5	26.7	7.0	6.7	648.1	4.0	0.7	1.4
max	24.1	17.6	29.8	23.1	144.8	36.4	12.0	10.3	711.8	7.8	1.9	2.5
Rye (n=5)												
m	15.4	16.2	21.3	19.8	136.2	27.6	8.5	13.2	648.6	13.7	3.6	5.8
sd	1.20	1.11	1.47	0.64	9.52	3.48	0.70	0.92	11.65	1.78	0.64	0.98
min	13.9	15.1	19.6	19.1	123.9	24.1	7.9	11.7	635.9	12.4	2.9	4.9
max	16.8	17.8	23.4	20.6	150.2	32.9	9.7	13.9	663.8	16.8	4.0	7.1
Barley (n=5)												
m	21.0	25.0	47.8	26.3	184.3	53.2	8.1	8.6	569.9	4.4	17.3	5.7
sd	1.19	5.62	10.67	2.89	20.70	10.03	0.98	1.00	46.47	1.09	5.08	2.78
min	20.0	21.6	34.1	22.8	159.5	45.0	6.8	7.8	496.1	3.4	10.5	1.4
max	22.4	34.9	60.0	29.6	211.2	64.8	9.3	9.9	609.8	6.0	24.4	8.0
Maize (n=7)												
m	16.7	44.6	22.6	15.1	97.5	24.4	2.6	6.8	716.3	0.8	0.4	1.1
sd	2.39	5.49	4.44	1.46	5.91	1.77	1.30	0.99	23.35	0.10	0.21	0.04
min	13.2	39.2	18.9	12.4	89.9	22.1	0.8	5.6	693.5	0.6	0.2	1.0
max	20.2	53.4	32.3	17.3	108.6	26.8	4.2	8.0	764.3	0.9	0.8	1.1
Sorghum (n=6)												
m	17.9	35.3	22.5	15.3	83.7	28.4	4.9	9.6	763.0	2.0	0.7	1.0
sd	1.74	1.73	3.08	1.46	9.59	2.28	0.68	1.70	17.61	1.68	0.47	0.05
min	15.2	33.3	19.1	14.1	73.2	25.5	4.2	7.2	740.6	0.5	0.2	1.0
max	20.1	37.9	27.7	17.8	96.2	31.9	6.0	11.4	781.7	4.1	1.4	1.1

[1] N bound to NDF (% total N in the grain)
[2] Water Extract Relative Viscosity
[3] m: mean value for the cereal species; sd: standard deviation; min: minimum value; max: maximum value
[4] number of batches - Wheat: for Sol. AX, Sol. β-gluc. and WERV (n=9) - Triticale: for NNDF (n=5) - Rye: for Sol. β-gluc. (n=2) - Barley: for CF (n=4)
Cultivars:
Wheat: four batches of mixed cultivars, one of Thésée; one of Beaver, one of Ritmo, one of Slepjner, two of Apollo; Triticale: one batch of Dagro, one of Aubrac, one of Magistral, one of Trimaran, two of Newton, two of Trick, two of Alamo; Rye: five batches of mixed cultivars; Barley: two batches of mixed 2-row cultivars, one of mixed 6-row cultivars, one of Express (6-row, winter), one of Magie (2-row, winter); Maize: 5 batches of mixed cultivars, one of Dea, one of Volga; Sorghum: one batch of mixed white cultivars, one of DK 34 (red), one of DK26 (red), one of Taxus (white), two of Aralba (white)
The mineral and vitamin concentrate provided per kg DM feed: 303 mg $MgCl_2$.6H2O; 303 mg KCl; 8437 mg NaCl; 22000 mg $NaHCO_3$; 9548 mg $CaHPO_4$; 10849 mg $CaCO_3$; 512 mg; $FeSO_4.7H_2O$; 303 mg $ZnSO_4.1H_2O$; 80 mg $CuSO_4.5H_2O$; 121 mg $MnSO_4.1H_2O$; 5 mg $CoCO_3$; 2 mg $Ca(IO_3)_2$; 27500 IU vit. A ; 2200 IU vit. D3; 4070 IU vit. E; 21 mg vit. K3; 6 mg vit. B1; 14 mg vit. B2; 13 mg vit. B6; 51 mg vit. PP; 80 mg vit. C; 1 mg folic acid; 70 mg vit. B12 ; 0.03 mg biotin; 30 mg vit. B3; 804 mg choline ; 50 mg carbadox

Tableau 34 : Amino acid content of the grains (g/16 g N)

Table II

	ΣAA[1]	Lys	Thr	Met	Cys	Trp	Ala	Arg	Asp	Glu	Gly	His	Ile	Leu	Phe	Ser	Tyr	Val
Wheat (n[3]=10)																		
m[2]	82.5	3.0	2.8	1.6	2.0	1.2	3.4	4.9	5.3	27.1	3.8	2.4	3.4	6.3	4.5	4.5	2.3	4.0
sd[2]	3.88	0.50	0.19	0.15	0.11	0.07	0.24	0.59	0.68	2.80	0.21	0.25	0.13	0.29	0.27	0.19	0.30	0.34
min[2]	77.2	2.5	2.5	1.4	1.9	1.0	3.0	4.3	4.2	22.7	3.3	2.0	3.3	5.9	4.0	4.3	1.8	3.6
max[2]	87.0	4.1	3.1	1.8	2.2	1.2	3.7	6.0	6.6	30.4	4.0	2.7	3.7	6.7	4.8	4.9	2.7	4.5
Triticale (n=10)																		
m	84.4	3.6	3.2	1.8	2.3	1.1	4.3	5.2	6.3	25.1	4.2	2.3	3.3	6.3	4.2	4.5	2.2	4.4
sd	6.22	0.45	0.30	0.19	0.28	0.14	0.55	0.66	0.79	2.10	0.47	0.23	0.19	0.47	0.20	0.15	0.29	0.39
min	72.0	2.9	2.8	1.5	1.8	0.9	3.4	4.2	5.1	21.6	3.4	1.8	3.0	5.5	3.8	4.2	1.8	3.7
max	90.3	4.2	3.6	2.1	2.7	1.3	5.0	6.1	7.4	28.2	4.8	2.6	3.5	6.8	4.5	4.7	2.6	4.8
Rye (n=5)																		
m	87.2	4.1	3.3	1.8	2.3	1.1	4.7	5.9	7.8	24.3	4.6	2.3	3.4	6.0	4.4	4.4	2.0	4.6
sd	4.10	0.27	0.19	0.13	0.19	0.11	0.31	0.42	0.40	1.21	0.15	0.15	0.18	0.26	0.25	0.20	0.11	0.18
min	82.5	3.8	3.1	1.7	2.2	1.0	4.4	5.2	7.6	23.0	4.4	2.2	3.2	5.7	4.1	4.2	1.9	4.4
max	91.6	4.5	3.6	2.0	2.6	1.3	5.2	6.2	8.5	26.1	4.8	2.5	3.6	6.3	4.7	4.6	2.1	4.8
Barley (n=5)																		
m	79.8	3.6	3.3	1.7	2.1	1.2	3.8	4.8	5.5	23.0	3.9	2.3	3.3	6.4	4.8	4.2	2.2	4.6
sd	2.97	0.29	0.16	0.22	0.23	0.11	0.32	0.44	0.40	1.27	0.15	0.33	0.15	0.28	0.13	0.19	0.27	0.38
min	77.8	3.3	3.2	1.6	1.8	1.1	3.4	4.2	5.1	21.6	3.7	1.8	3.2	6.1	4.7	4.0	2.0	4.2
max	84.1	4.0	3.6	2.1	2.4	1.3	4.2	5.3	6.1	24.4	4.0	2.6	3.6	6.7	5.0	4.5	2.7	5.0
Maize (n=7)																		
m	86.4	3.0	3.6	2.2	2.1	0.7	7.4	4.2	6.1	18.4	3.5	2.6	3.5	11.8	4.9	4.8	3.0	4.7
sd	4.21	0.27	0.20	0.24	0.22	0.08	0.47	0.56	0.67	1.52	0.32	0.28	0.16	0.80	0.27	0.30	0.47	0.40
min	80.4	2.5	3.3	1.9	1.9	0.7	6.9	3.4	5.0	16.8	3.1	2.3	3.3	10.8	4.6	4.3	2.5	3.9
max	92.3	3.4	3.8	2.6	2.5	0.9	8.0	4.8	6.9	21.2	4.1	3.0	3.7	12.9	5.4	5.2	3.7	5.1
Sorghum (n=6)																		
m	85.9	2.2	3.1	1.8	1.6	1.0	8.7	3.5	6.4	20.2	3.0	2.1	3.6	12.2	4.7	4.2	2.9	4.6
sd	1.15	0.12	0.12	0.23	0.14	0.00	0.46	0.63	0.21	0.83	0.18	0.40	0.11	0.35	0.16	0.05	0.34	0.05
min	84.5	2.1	2.9	1.4	1.3	1.0	8.3	2.2	6.0	19.1	2.7	1.5	3.4	11.8	4.5	4.2	2.7	4.5
max	87.3	2.4	3.2	2.0	1.7	1.0	9.6	3.9	6.6	21.3	3.2	2.7	3.7	12.8	4.9	4.3	3.6	4.6

[1] sum of all amino acids

[2] m: mean value for the cereal species; sd: standard deviation; min: minimum value; max: maximum value

[3] number of batches

Tableau 35 : Effect of the cereal species[1] on ileal true digestibility[2] of N and AA

Table III

	Wheat		Triticale		Rye		Barley		Maize		Sorghum		
	m[4]	se[4]	m	se	m	se	m	se	m	se	m	se	rsd[5]
N	88.9a	0.63	86.6b	0.64	77.3d	0.54	82.7c	1.13	86.7b	0.76	81.2c	1.10	1.8
ΣAA[3]	90.3a	0.40	88.7b	0.35	80.1e	0.67	85.4c	0.77	89.9a	0.83	83.7d	0.99	1.6
Lys	82.9a	0.82	83.0a	0.45	72.5c	1.12	78.0b	0.94	83.4a	1.26	74.4c	2.09	2.9
Thr	83.4a	0.45	81.5b	0.56	72.2e	0.43	79.2c	1.02	83.3a	1.41	76.7d	1.62	2.5
Met	90.8b	0.43	91.5b	0.27	83.7d	1.82	88.2c	0.82	93.5a	1.16	87.6c	1.37	2.0
Cys	91.5a	0.40	90.9ab	0.28	86.3c	1.38	88.0c	0.49	89.6b	1.00	79.4d	1.25	1.8
Trp	88.6a	0.77	86.6b	0.63	75.4e	1.41	82.4c	1.22	79.5d	1.32	81.2cd	1.05	2.5
Ala	80.8b	0.91	79.4b	0.69	68.6d	0.61	75.4c	0.95	89.2a	0.91	80.0b	2.67	2.8
Arg	88.6b	1.03	90.2a	0.45	80.4d	0.96	84.5c	1.45	91.4a	0.67	84.7c	2.79	2.0
Asp	84.7b	0.57	84.0bc	0.56	77.3e	0.94	79.9d	0.30	88.6a	1.01	82.4c	0.92	2.3
Glu	95.7a	0.28	94.4b	0.21	88.8e	0.59	91.2d	0.83	92.9c	0.71	87.4f	0.94	1.2
Gly	86.4a	0.58	84.0b	0.42	71.9d	0.71	81.0c	1.11	83.2bc	1.95	70.0d	1.41	3.1
His	90.2a	0.55	88.6b	0.72	78.6d	0.43	85.3c	1.33	89.0ab	0.95	80.2d	2.03	1.7
Ile	89.8a	0.53	87.4b	0.42	78.3d	0.56	84.3c	1.10	89.2a	0.95	83.7c	0.93	1.9
Leu	89.8b	0.44	88.1c	0.42	77.9e	0.64	85.8d	0.89	92.8a	0.77	87.7c	0.97	1.7
Phe	91.7a	0.46	89.2b	0.43	81.7d	0.62	87.3c	1.12	91.5a	0.81	86.7c	0.96	1.7
Ser	89.9a	0.43	87.6b	0.43	78.2e	0.43	84.2c	0.70	88.9a	1.06	82.6d	1.03	1.7
Tyr	89.9a	0.46	88.2bc	0.52	74.9e	1.01	87.4c	0.90	89.4ab	1.03	85.7d	1.07	2.0
Val	86.1b	0.61	85.0b	0.42	75.2d	0.60	82.7c	1.00	87.5a	0.70	81.4c	1.06	2.0

[1] the effect of the species, tested against the batch nested within the species was always highly significant (*P<0.001*)

Values with different character in the same row differ significantly at *P<0.05*

[2] expressed as percentage units

[3] sum of all amino acids

[4] m: mean value; se: standard error

[5] rsd: residual standard deviation

Tableau 36 : Effect of the cereal species[1] on endogenous AA losses and ileal real digestibility of N and AA

Table IV

	Wheat		Triticale		Rye		Barley		Maize		Sorghum		
	m[4]	se[4]	m	se	m	se	m	se	m	se	m	se	rsd[5]
Endogenous AA losses (g/kg DMI)[2]													
	9.12bc	0.488	10.74a	0.523	7.50c	0.297	7.88c	0.798	8.44c	0.457	9.83ab	0.300	1.46
IRD (%)													
N	95.8b	0.86	97.7a	0.67	84.2e	0.66	88.2d	1.10	94.8b	0.69	91.2c	1.24	2.3
ΣAA[3]	95.1a	0.55	95.9a	0.53	84.6c	0.70	89.3b	1.17	95.1a	0.72	90.2b	1.03	1.9
Lys	91.4b	0.99	94.2a	0.79	78.7d	1.09	83.9c	1.15	92.9ab	1.07	91.2b	1.35	3.1
Thr	92.1ab	0.83	93.7a	0.72	79.6e	0.58	85.3d	1.64	91.3b	1.18	88.3c	1.36	2.8
Met	96.2b	0.68	98.8a	0.51	88.6d	1.67	92.2c	1.44	98.1a	1.20	94.4b	1.07	2.2
Cys	96.5ab	0.53	97.8a	0.52	90.8c	1.17	92.0c	0.59	95.4b	1.09	88.7d	1.19	2.1
Trp	95.4b	1.01	97.4a	0.68	82.2e	1.33	87.8d	0.88	92.1c	2.02	92.4c	1.07	3.0
Ala	89.1b	1.05	90.0b	0.74	74.8e	0.75	81.5d	1.45	93.8a	0.68	84.6c	2.76	2.7
Arg	92.5b	1.38	96.2a	0.71	83.6d	1.00	87.6c	2.02	96.5a	0.70	93.6b	1.48	2.4
Asp	92.5c	0.86	94.1b	0.58	82.5e	0.78	85.8d	1.02	96.0a	0.88	91.5c	0.92	2.5
Glu	97.5a	0.26	97.5a	0.29	90.9d	0.60	93.0c	0.99	96.1b	0.64	90.9d	1.01	1.4
Gly	96.9b	0.97	98.6a	1.01	80.5d	0.90	89.2c	2.14	96.1b	1.42	88.8c	1.52	2.6
His	93.9a	0.63	94.6a	0.87	82.3d	0.63	88.3b	1.30	93.1a	1.03	86.4c	1.30	2.1
Ile	95.4a	0.68	96.4a	0.73	83.8d	0.54	88.7c	1.41	95.5a	1.14	91.3b	0.94	2.4
Leu	94.5a	0.54	95.3a	0.49	82.7c	0.58	89.5b	1.23	95.8a	0.76	91.1b	1.02	2.0
Phe	95.3a	0.45	95.3a	0.47	85.4c	0.74	90.1b	1.25	95.3a	0.79	91.6b	0.98	2.0
Ser	95.3a	0.59	96.1a	0.65	83.7d	0.65	88.9c	1.19	94.8a	0.80	90.8b	1.02	2.0
Tyr	94.5ab	0.55	95.7a	0.85	80.7d	0.83	91.3c	1.07	93.7b	0.90	90.9c	1.07	2.4
Val	92.5b	0.71	94.2a	0.68	80.8d	0.60	87.2c	1.54	93.9ab	0.72	89.5c	1.00	2.4

[1] the effect of the species, tested against the batch nested within the species is always highly significant (*P<0.001*)

Values with different character in the same row differ significantly at *P<0.05*

[2] basal endogenous losses (g kg^{-1} DMI) N:1.145; ΣAA: 3.969 - (% ΣAA) Lys: 6.7; Thr: 6.5; Met: 2.2; Cys: 2.7; Ala: 7.5; Arg: 5.2; Asp: 10.6; Glu: 13.2; Gly: 10.4; His: 2.3; Ile: 5.0; Leu: 7.6; Phe: 4.2; Ser: 6.4; Tyr: 2.8; Val: 6.7

[3] sum of all amino acids

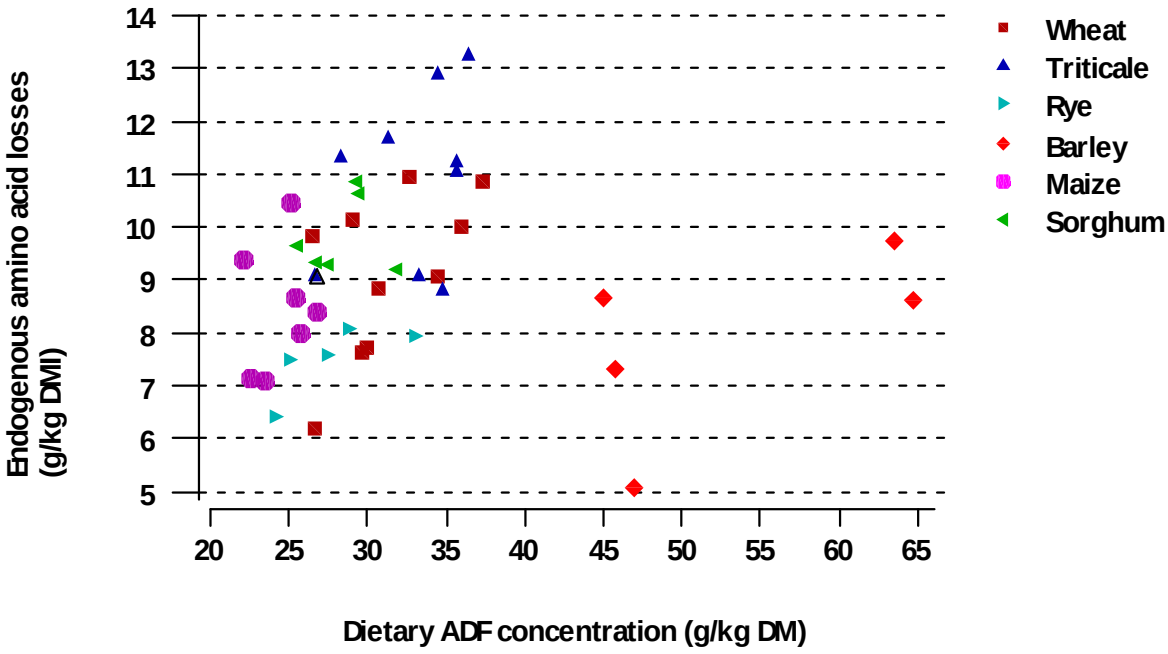
[4] m: mean value; se: standard error

[5] rsd: residual standard deviation

Figure 18 : Endogenous AA[1] losses (g/kg DM ingested) according to the ADF content of the experimental diet (g/kg DM)

Figure 1

[1] sum of all AA



IV - Ileal true digestibility of amino acids in wheat milling by-products for pigs

Catherine Jondreville [a], Jan van den Broecke [b], François Grosjean [a], Sabine Van Cauwenberghe [b], François Gâtel [a,*]

[a] Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 8 avenue du Président Wilson, 75116 Paris, France

[b] Eurolysine, 153 rue de Courcelles, 75817 Paris Cedex 17, France

Wheat milling by-products in pig feeding

*** Correspondence and reprints**
Tel.: +33 254774810; Fax: +33 254722925; E-mail: fgatel@itcf.fr

Ann. Zootech. 49 (2000) 55-65.

Abstract - Ten batches of wheat milling by-products - 3 of wheat middlings (WM), 4 of wheat feed (WF), 3 of wheat bran (WB) - were analysed and studied for their protein and amino acid ileal true digestibility (ITD). Each batch was tested on four castrated male pigs weighing between 35 and 95 kg, and fitted with an end-to-end ileo-rectal anastomosis. In all types of by-products, lysine and threonine were among the least digestible amino acids, whereas methionine was among the most digestible ones. N and all amino acids ITD decreased significantly (P<0.05) from WM to WF and to WB. In WM, the average N, lysine, threonine and methionine ITD values were 93.6, 90.8, 90.4 and 95.1%, respectively. They decreased to 85.5, 86.6, 83.3 and 91.5%, respectively in WF and down to 70.1, 68.3, 68.4 and 78.9%, respectively in WB. N and all amino acids ITD was predicted according to either the ratio of the feedstuff fibre to amino acid concentrations, or the proportion of total N bound to the NDF (neutral detergent fibre) residue, or both. For most amino acids, the use of CF (crude fibre), ADF (acid detergent fibre) or ADL (acid detergent lignin) as fibre criteria provided accurate equations with coefficient of determination higher than 90%.

wheat milling by-products / ileal digestibility / amino acids / pigs

Résumé – Digestibilité iléale des acides aminés des issues de meunerie chez le porc. L'objectif de ce travail était de mesurer la digestibilité iléale des acides aminés des issues de meunerie chez le porc et d'en déterminer les principaux facteurs de variation. Dans ce but, dix lots commerciaux de co-produits de meunerie (3 lots de farine basse, 4 lots de remoulage et 4 lots de sons) ont fait l'objet d'une caractérisation analytique et d'une mesure de digestibilité iléale des acides aminés. Les caractéristiques suivantes ont été analysées : azote, acides aminés, amidon, matière minérale, matière grasse, cellulose brute (CB), NDF (neutral detergent fibre), ADF (acid detergent fibre), ADL (acid detergent lignin) et teneur en azote du résidu NDF (NNDF). Chacun des lots a été testé sur quatre porcs mâles castrés, pesant entre 35 et 95 kg et préparés en anastomose iléo-rectale termino-terminale. Pour les trois types de co-produit, la digestibilité iléale vraie de la lysine et celle de la thréonine sont parmi les plus faibles alors que celle de la méthionine est parmi les plus élevées. La digestibilité iléale vraie de l'azote et de tous les acides aminés diminue significativement (P<0.05) des farines basses aux remoulages puis aux sons. La digestibilité iléale vraie moyenne de l'azote, de la lysine, de la thréonine et de la méthionine est de, respectivement, 93.6, 90.8, 90.4 et 95.1% pour les farines basses. Elle diminue jusqu'à, respectivement, 85.5, 86.6, 83.3 et 91.5% pour les remoulages et jusqu'à, respectivement, 70.1, 68.3, 68.4 et 78.9% pour les sons. La digestibilité iléale vraie de chacun de acides aminés peut être prédite à partir de la teneur en fibre de l'aliment et la quantité d'azote liée au résidu. Les meilleurs prédicteurs sont le rapport entre la teneur en CB, ADF ou ADL et la teneur en acide aminé, la proportion de l'azote total lié au résidu NDF, ou les deux. Pour la plupart des acides aminés, le coefficient de détermination des équations proposées excède 90%.

Co-produits de meunerie / digestibilité iléale / acides aminés / porc

IV - Ileal true digestibility of amino acids in wheat milling by-products for pigs

A - INTRODUCTION

The by-products of wheat milling are of considerable economic significance as they represent 25% of the original grain. They are usually ranked in three different grades according to the proportions of the structures of the initial grain they contain: wheat middlings (WM) are made of starchy endosperm and particles of the aleurone layer, wheat feed (WF) contains endosperm and outer layers in variable proportion, whereas wheat bran (WB) contains outer layers with variable amounts of remaining starchy endosperm. If they can roughly be classified according to their fibre, ash and starch concentrations, they vary widely in composition according to the extent to which they are segregated and sold separately by a mill. Although they are traditionally used in pig feeding, only few authors reported values relative to their nitrogen and amino acid ileal digestibility [10, 29, 32].

The aim of this study, part of a more extensive work on amino acid digestibility in pig feeds [16], was to measure the nitrogen and amino acid ileal true digestibility in each of the three types of by-product and to evaluate the relevance of analytical criteria for its prediction.

B - MATERIAL AND METHODS

B.1 - Feedstuffs and experimental diets

Ten commercial batches were selected to be representative of wheat milling by-products used for feed in Europe: 3 batches of wheat middlings (WM1 to WM3), 4 of wheat feed (WF1 to WF4) and 3 of wheat bran (WB1 to WB3). All originated from Europe and six from France. Feedstuffs were ground in a hammer mill fitted with a 2-mm screen. The WM and WF based diets contained 945 g by-product and 55 g minerals and vitamins concentrate per kg. Because of problems of feed intake, the WB batches were mixed with a corn starch/sugar mixture (1/1), in addition to the 55 g minerals and vitamins concentrate. The level of incorporation of WB1, WB2 and WB3 in the diet was 842, 685 and 525 g per kg, respectively.

B.2 - Animals and procedures

Animals were castrated male pigs, pure bred Large white or (Large White x Landrace) x (Large White x Piétrain). They were surgically prepared with an end-to-end ileo-rectal anastomosis at a live weight of 25 to 30 kg [26, 18]. After a four-week recovery period following surgery, the animals entered a test period of 12 weeks. The experiments lasted from 1990 to 1993 and required the preparation of 20 growing pigs grouped into five batches of four animals. Each batch of feedstuff was tested on each of the four animals of only one group, at one period, both selected at random.

Animals were fed twice daily (8 a.m. and 4 p.m.) a diet in meal form mixed with water at the time of feeding (2 volumes water/1 volume meal). Drinking water was continuously available. The feeding scale was set at 90 g meal per kg metabolic weight (Live Weight $^{0.75}$), i.e., taking into account the dry matter content of our wheat milling by-products based diets, around 72 g dry matter ingested per kg metabolic weight. Every week, the feed supply was individually adjusted, based on live weight values and their expected increases at four-week intervals.

Each test consisted in two phases, a five-day adaptation period followed by a two-day collection period. This combination of the adaptation and collection periods was among

those which allowed the most accurate measurement of nitrogen excreted by pigs fitted with an end-to-end ileo-rectal anastomosis [21]. During the latter period, the ileal digesta were totally collected twice a day, just after meal, and immediately stored at 4°C. At the end of the collection period, the ileal juices were homogenised on an animal basis, and two samples were taken: one was oven-dried (80°C for 72 hours), for dry matter determination, and the other one was freeze-dried prior to analysis.

B.3 - Chemical analysis

All the chemical determinations, including amino acids, were performed in duplicate. Each batch of feedstuff, each diet and each sample of ileal chyme was analysed for nitrogen and amino acids. The nitrogen (N) content was measured by the Kjeldahl method [14] with a Kjel-foss automatic apparatus (Foss-Electric, Denmark). The amino acid concentration was determined by chromatography in an ion exchange column (Beckman 6300, Beckman, USA) after a 23-hour hydrolysis in HCl 6 N at 110°C [1]. The proline concentration was not measured. The S-containing amino acids were determined by the same method, after oxidation with performic acid. Tryptophan was separated by HPLC followed by fluorometric detection (Kontron Instrument, France). Hydrolysis was carried out in an alkaline bath (baryum hydroxide) at 125°C for 16 hours [17]. The dry matter (DM) content of each batch of feedstuff was determined by drying to constant weight at 103°C. For the determination of ash concentration, samples were placed at 550°C for 8 hours. Neutral Detergent Fibre (NDF), Acid Detergent Fibre (ADF) and Acid Detergent Lignin (ADL) determinations were sequentially carried out [34], using Termamyl (Novo Nordisk, Denmark) for amylolytic treatment, and crude fibre (CF) according to the Weende method [13], by means of a Fibertec system (Tecator, Sweden). The concentration of N in the NDF residue (NNDF) was evaluated by treatment with the NDF solution and N determination on the residue, as described above. Fat concentration was measured, without hydrolysis prior to analysis [25], by means of a Soxtherm apparatus (Gerhardt, Germany). Starch concentration was derived by the Ewers method [24]: starch was hydrolysed by hot hydrochloric acid (1.128 g/100 ml) before measurement of specific rotation (POL.400, Isabiologie, France).

B.4 - Calculation and statistical analyses

B.4.1 - Digestibility calculation

At a first step, ileal apparent digestibility (IAD) was calculated from nitrogen and amino acid concentrations in the diets and in the ileal juices samples. IAD was corrected into ileal true digestibility (ITD), by subtracting the basal endogenous losses from the total amount of amino acid excreted. For the correction, assumption was made that the basal endogenous losses were in constant proportion of the amount of dry matter ingested [20, 31]. The basal endogenous output was previously determined in our laboratory (*table //*), in 20 replicates, on pigs prepared and managed according to the above described procedure and fed a protein-free diet containing maize starch (580 g per kg), sugar (300 g per kg), wood cellulose (35 g per kg), soya oil (30 g per kg) and a minerals and vitamins concentrate (55 g per kg).

B.4.2 - Data analysis

The effect of the batch (B) on amino acid ITD was analysed first within each type of wheat milling by-product. The effect of group of pigs

could not be tested independently of the batch of wheat milling by-product. However, we checked the absence of LW and LWxB interaction effects by a covariance analysis. An overall analysis of variance was performed in order to evaluate the effect of the type of wheat milling by-product relative to the residual variation between batches. The overall model included the following items: the type of by-product (T) and the batch nested within the type B(T). The effect of the type (T) was tested against the batch nested within the type (B(T)). A Tukey's Studentized Range test was used for comparison of means. Analyses of variance and covariance were performed using the GLM procedure of the SAS statistical software [28].

Attempts for prediction of N and amino acids ITD were made through regressions of the ileal true digestibility values on the analytical characteristics of the diets (g/kg DM) and the ratios of the analytical characteristics to the amino acid concentrations [32]. These ratios have the advantage of being independent of the level of incorporation of the feedstuff in the experimental diet, contrary to the simple dietary components concentrations. Regression analyses were performed by means of the STEPWISE procedure of the MINITAB statistical software [22].

C - RESULTS

For five batches of feedtuff, digestibility was calculated on three replicates only because of the death of pigs during experiments or problems of low feed intake. The average live weights of pigs fed WM and WF were in the same range (65 to 92 kg), whereas they were lower for pigs fed WB (37 to 67 kg).

C.1 - Analytical characteristics and amino acids concentration

The analytical composition of each batch of wheat milling by-product is given in *table I*. The fibre (CF, NDF, ADF, ADL) as well as the ash concentrations increased, whereas the starch concentration decreased from WM to WF and to WB. The nitrogen concentration was in the same range in WF and WB, and higher than in WM. The proportion of nitrogen bound to the NDF residue was by far higher in WB (16.6 to 21.8%) than in WF and WM (3.2 to 5.4% and 5.6 to 7.8%, respectively). Whatever the type of by-product, methionine, cystine, tryptophan and tyrosine were among scarce amino acids. Glutamic acid displayed the highest concentration, followed by arginine, aspartic acid, leucine and serine. However the amino acid pattern varied: the lysine, alanine, arginine, aspartic acid and glycine concentrations increased from WM to WB, whereas the glutamic acid and phenylalanine concentrations decreased.

C.2 - N and amino acid ITD

Within a single type, the LWxB interaction on amino acid ITD was never significant *(P>0.05)*, except for N and glycine in WF. In addition, the LW effect was never significant (results not shown). N and amino acid ITD values, the results of the analysis of variance performed for each type of by-product and the results of the overall analysis of variance are presented in *table II*. Whatever the type of by-product, methionine, arginine, glutamic acid, histidine and phenylalanine were among the most digestible amino acids whereas lysine, threonine, alanine and aspartic acid were among the least digestible ones. Glycine also was among the least digestible amino acids in WB and WF.

Significant differences (P<0.05) between batches appeared in the three types of by-products. The effect of the type of by-product, tested against the effect of the batch nested within the type, was significant for all amino acids and even highly significant (P<0.001) for most of them: amino acid ITD decreased from WM to WF and to WB. Overall, the sum of all amino acids ITD decreased by 5.5 percentage units from WM to WF and by 12.4 additional percentage units to WB. These differences were variable according to the amino acid: the greatest differences were observed for glycine, lysine, threonine, alanine and aspartic acid and the smallest for arginine, glutamic acid, tryptophan and histidine.

C.3 - Prediction of N and amino acid ITD

The predicting equations obtained for essential and semi essential amino acids are shown in *table III*. ITD of each amino acid was predicted according to either the ratio of fibre to its concentrations, or the ratio of the N in NDF residue to N concentrations, or both together. For most amino acids, ADF, CF or ADL provided equations with quite similar residual standard deviation and coefficient of determination. The use of NDF as fibre criteria led to less accurate equations.

D - DISCUSSION

D.1 - Chemical composition of the by-products batches

The variability in analytical characteristics and protein amino acid profiles within each type of by-products fits in with the variability reported in literature [2, 27]. It originates from the variable amounts of pericarp, aleurone and endosperm fractions recovered in each of the by-products batches. However, except for WF4, which exhibits analytical characteristics very close to those of WB3, and an amino acid pattern very close to that of wheat brans, the types of by-products are clearly differentiated.

The increasing concentrations of the dietary protein in lysine, alanine, arginine, aspartic acid and glycine from WM to WB is in accordance with the high concentration of these amino acids in wheat pericarp and aleurone, as well as in wheat functional proteins (albumins and globulins). On the contrary, the decreasing concentration of glutamic acid and phenylalanine from WM to WB is consistent with their high concentration in wheat endosperm as well as in wheat storage proteins (prolamins and glutelins) [5, 27].

D.2 - N and amino acid ITD

Some differences in physiological status, age or weight have appeared between groups of animals and some batches of feedstuff have been tested later than others within the same group. Therefore the reliability of our data was based on the initial assumption of the absence of effects, not only of pig ageing or live weight, but also of other characteristics of the groups on amino acid digestibility.

These animals were growing pigs housed in the same environment, fed at constant levels of dry matter intake and used within a relatively narrow range of body weight. In such conditions, there is no indication in the literature of significant variations affecting ileal digestibility of the amino acids other than those associated with changes in dietary components. In accordance with previous results [4, 19], the analysis of the effect of live weight confirmed that this parameter was of little influence on amino acid ileal digestibility in pigs fitted with an end-to end ileo-rectal anastomosis.

The overall decrease in amino acid ITD from WM to WB was previously reported [32]. A

similar ranking of amino acids for ITD was previously observed in wheat milling by-products [10, 28, 31], as well as in wheat (e.g. [6, 8, 9, 11, 29, 33]. However, the overall high digestibility of methionine is in agreement with some literature data [29], but at variance with other ones [10, 32].

IAD values are biased by the AA concentration in the experimental diet [7], which hampers a reliable comparison of data together. Correcting total ileal AA flow by the basal endogenous losses aims at overcoming this methodological problem and at getting additive supply of digestible AA [9, 31]. Although the average basal endogenous losses we calculated from 20 individual measurements are almost twice lower than the value proposed by Wünsche et al. in a literature review, they remain in the range of variation proposed by this author (2.22 ± 0.88 g/kg DM) [35]. For ITD calculation, ileal excretion of amino acid being corrected for basal endogenous losses only, factors affecting either the feed specific endogenous losses, or the undigested dietary fraction, or both, may influence the ranking of types of by-products or of batches within a type with regards to amino acid ITD, as well as differences between amino acids [31].

Relatively high concentrations of threonine, alanine, aspartic acid and glycine in endogenous protein, compared to dietary protein, undoubtedly contribute to their overall low ITD in wheat milling by-products [32]. In addition, as previously demonstrated with protein-free diets, ileal N endogenous losses increase when pigs are fed increasing amounts of fibre (NDF) [21, 30]. The mechanisms involved are a direct stimulation of digestive secretion, a sloughing of epithelial cells but also the adsorption of peptides and amino acids on the fibre or the alteration of the rate of passage through the intestinal tract [23]. This phenomenon probably contributes to the general decrease in digestibility from WM to WB. It may also explain the great decrease in ITD of those amino acids which are highly concentrated in the endogenous protein compared to the dietary protein. Dietary fibre may also impair ileal true digestibility by encapsulating dietary protein and limiting its release in the intestinal lumen [11, 15, 32]. As the proportion of total N bound to the NDF residue increases greatly from WM to WB, it probably partly explains the decrease in digestibility from WM to WB. This phenomenon is also probably involved in the overall low digestibility of alanine, aspartic acid and lysine, highly concentrated in the fibrous part of the wheat grain, as well as in the great decrease in ITD for these amino acids from WM to WB [5, 27].

On the contrary, the most digestible amino acids are either mainly located in the endosperm fraction of the grain (glutamic acid, histidine and phenylalanine) and, therefore, more accessible to the digestive enzymes, or scarce in the endogenous protein compared to the dietary protein (methionine, histidine, glutamic acid and phenylalanine). The overall high arginine ITD, despite its high concentration in the most fibrous part of the grain may originate from a quick release from protein and a rapid absorption [11].

D.3 - Prediction of N and amino acid ITD

As previously reported by Sève et al. [32], both the dietary fibre concentration relative to the amino acid concentration and the proportion of nitrogen bound to the NDF residue were relevant predictors for amino acid ileal true digestibility in wheat milling by-products. The predicting equations proposed are accurate and meaningful as they may represent the probable

increase of both endogenous losses and the amount of undigested protein from WM to WB.

At the end, reliable prediction of N and amino acid ITD in wheat milling by-products can be performed from their fibre and NNDF concentrations. However, our study failed to quantify the relative weight of losses from endogenous and dietary origins in the total losses. Further investigations, involving the partition of amino acid in digesta according to their origin, would enhance our understanding of the mechanisms involved during digestion.

ACKNOWLEDGEMENTS

Part of the results were obtained with the financial support of the Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (ACTA programme) and the European Commission (CAMAR CT 91-0112). The work was performed in collaboration with MENGVOEDER UT-DELFIA (NL), SUOMEN REHU (SF) and SANOFI SANTE NUTRITION ANIMALE (F). The authors wish to thank the staffs of the ITCF pig unit research, the ITCF laboratory, the ITCF methods department and the EUROLYSINE laboratory for their technical assistance. They gratefully acknowledge B. SEVE (Institut National de la Recherche Agronomique, F), R. PINOT (SANOFI SANTE NUTRITION ANIMALE, F), D. SAUVANT (Institut National Agronomique de Paris-Grignon, F) and G. RYCHEN (Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, Nancy, F) for their advises in preparing this paper.

E - REFERENCES

[1] AFNOR. Aliments des animaux, dosage des acides aminés. NF V 18-113. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense, 1993.

[2] Bach Knudsen K.E., Carbohydrates and lignin content of plant materials used in animal feeding, Anim. Feed Sci. Technol. 67 (1997) 319-338.

[3] Bergner H., Lück M., Müller J., Untersuchung zur Sorption von Aminosaüren an Diätkomponenten, Arch. Tierernähr. (Berlin) 31 (1981) 265-271.

[4] Bodin J.C., McMillan E., Maillard R., van Kempen T., Williams P.E.V..Effect of time post-surgery on the measurement of ileal digestibility in ileal rectal anastomosed pigs, in : Proc. Ann. Meet. Br. Soc. Anim. Sci., Br. Soc. Anim. Sci. Publ., March, Scarborough, UK, 1998, p 162.

[5] Chung, O. K.; Pomeranz, Y.. Amino acids in cereal proteins and protein fractions, in: J. W. Finley; D.T Hopkins (Eds). Digestibility and amino acids availability in cereals and oilseeds. American Association of Cereal Chemists, St-Paul, Minnesota, USA, 1985, pp 65-103.

[6] De Lange C.F.M., Souffrant W.B., Sauer W.C., Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determined with the ^{15}N-isotope dilution technique, J. Anim. Sci. 68 (1990) 409-418.

[7] Fan M.Z., Sauer W.C., Hardin R.T., Lien K.A., Determination of apparent ileal digestibility in pigs: effect of dietary amino acid level, J. Anim. Sci. 72 (1994) 2851-2859.

[8] Fuller M.F., Cadenhead A., Brown D.S., Brewer A.C., Carver M., Robinson R., Varietal differences in the nutritive value of cereal grains for pigs, J. Agric. Sci. (Cambridge) 113 (1989) 149-163.

[9] Furuya S., Kaji Y., Additivity of the apparent and true ileal digestible amino acid supply in barley, maize, wheat or soya-bean meal based diets for growing pigs, Anim. Feed Sci. Technol. 32 (1991) 321-331.

[10] Furuya S., Kaji Y., Asano T., Murayama R., Ileal digestibilities of amino acids in wheat bran, rice bran, rapeseed meal, grain sorghum, meat and

bone meal and feather meal for growing pigs, Jpn. J. Zootech. Sci. 59 (1988) 407-413.

[11] Green S.,Bertrand S.L., Duron M.J.C., Maillard R.A., Digestibility of amino acids in maize, wheat and barley meal, measured in pigs with ileo-rectal anastomosis and isolation of the large intestine, J. Sci. Food Agric. 41 (1987) 29-43.

[12] Howard P., Mahoney R.R., Wilder T., Binding of amino acids by dietary fibres and wheat bran, Nutr. Rep. Intern. 34 (1986) 135-140.

[13] ISO. Agricultural food products - determination of crude fibre - general method. ISO 5498, International Standards of Organisation, Genève, 1981.

[14] ISO. Animal feeding stuffs - determination of nitrogen for the calculation of crude protein content - Kjeldahl methods. ISO 5983, International Standards of Organisation, Genève, 1997.

[15] Johansen H.N., Bach Knudsen K.E., Wood P.J., Fulcher R.G., Physico-chemical properties and the degradation of oat bran polysaccharides in the gut of pigs, J. Sci. Food Agric. 73 (1997) 81-92.

[16] Jondreville C., van den Broecke J., Gatel F., Van Cauwenberghe S.. Ileal digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs. Eurolysine-ITCF, Paris, France, 1995, 53 pp.

[17] Landry J., Delhaye S., Simplified procedure for determination of tryptophan of foods and feedstuffs from barytic hydrolysis, J. Agric. Food Chem. 40 (1992) 776-779.

[18] Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Perez J.P., Henry Y., Giger S., Sauvant D., Associative effects between two fibre sources on ileal and overall digestibilities of amino acids, energy and cell-wall components in growing pigs, Br. J. Nutr. 61 (1989) 75-87.

[19] Laplace J.P., Souffrant W.B., Hennig U., Chabeauti E., Février C., Measurement of precaecal dietary protein and plant cell wall digestion in pigs : comparison of four surgical procedures for ileorectal anastomosis, Livest. Prod. Sci. 40 (1994) 313-328.

[20] Low A.G., Digestibility and availability of amino acids from feedstuffs for pigs: a review, Livest. Prod. Sci. 9 (1982) 511-520.

[21] Mariscal-Landin G., Sève B., Colleaux Y., Lebreton Y., Endogenous amino nitrogen collected from pigs with end-to-end ileorectal anastomosis is affected by the method of estimation and altered by dietary fiber, J. Nutr. 125 (1995) 136-146.

[22] MINITAB. MINITAB reference manual (release 11), MINITAB Inc., USA, 1996.

[23] Nyachoti C. M., De Lange C. F. M., McBride B. W., Schulze H., Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: a review, Can. J. Anim. Sci. 77 (1997) 149-163.

[24] OJEC. Dosage de l'amidon - méthode polarimétrique. EEC 3e-72/199. Official Journal of the European Communities, 27 November 1980.

[25] OJEC. Dosages des matières grasses brutes. EEC 2e-71/393. Official Journal of the European Communities, 18 January 1984.

[26] Picard M., Bertrand S., Genin F., Maillard M., Digestibilité des acides aminés : intérêt de la technique du shunt iléo-rectal chez le porc, Journées Rech. Porcine en France 16 (1984) 355-360.

[27] Pomeranz, Y.. Chemical composition of kernel structures, in: Y. Pomeranz (Ed), Wheat, Chemistry and Technology, 3rd Ed, vol. 1, American Association of Cereal Chemists, St-Paul, Minnesota, USA, 1988, pp 97-158.

[28] SAS. SAS/STAT®, User's Guide (4th Ed.,vol 2), SAS Inst. Inc., Cary, NC, 1990.

[29] Sauer W.C., Stothers S.C., Parker R.J., Apparent and true availabilities of amino acids in wheat and milling by-products for growing pigs, Can. J. Anim. Sci. 57 (1977) 775-784.

[30] Schulze H., van Leeuven P., Verstegen M.W.A., van den Berg J.W.O., Dietary level and source of neutral detergent fiber and ileal endogenous nitrogen flow in pigs, J. Anim. Sci. 73 (1995) 441-448.

[31] Sève B., Henry Y., Protein utilization in non ruminants, in : Proc. 7th Symp. on Protein Metabolism and Nutrition, A.F. Nunes, A.V. Portugal, J.P. Costa, J.R. Ribeiro (Eds), Vale de Santarém, Portugal, 24-27 May 1995, EAAP Pub. n° 81, 1996, pp 59-82.

[32] Sève B., Mariscal-Landin G., Février C., Lechevestrier Y., Prédiction de la digestibilité iléale des acides aminés chez le porc: le cas des issues de blé, Journées Rech. Porcine en France 26 (1994) 259-266.

[33] Taverner M.R., Hume I.D., Farell D.J., Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 2. Apparent and true ileal availability, Br. J. Nutr. 46 (1981) 159-171.

[34] van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis A., Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition, J. Dairy Sci. 74 (1991) 3583-3597.

[35] Wünsche J., Herrmann U., Meinl M., Hennig U., Kreienbring F., Zwierz P., Einfluss exogener Faktoren auf die präzäkale Nährstoff- und Aminosaürenresorption, ermittelt an Schweinen mit ileo-rektal Anastomosen. 1. Mitteilung : Einfluss des Zerkleinerungsgrades von Getreide, Arch. Tierernähr. (Berlin) 37 (1987) 745-764.

Tableau 37 : Analytical characterisation of the feedstuffs

Table 1

	Wheat middlings			Wheat Feed				Wheat Bran		
Batch	**WM1**	**WM2**	**WM3**	**WF1**	**WF2**	**WF3**	**WF4**	**WB1**	**WB2**	**WB3**
Origin[1]	**NL**	**F**	**F**	**NL**	**F**	**F**	**F**	**SF**	**SF**	**F**
g/kg DM										
N	27.5	22.8	25.3	29.6	30.6	28.6	32.7	35.1	25.8	33.3
Fat	34.4	29.3	26.7	46.4	32.4	44.8	47.3	40.5	44.5	56.1
CF	11.5	14.4	19.8	50.9	46.0	60.2	61.4	111.6	98.0	67.2
Ash	22.9	14.6	22.1	35.1	37.5	33.5	44.6	59.1	63.2	45.2
NDF	67.7	67.3	117.7	208.1	211.4	254.4	279.9	404.8	482.4	315.5
ADF	20.6	14.6	25.3	60.0	55.5	70.5	76.3	128.0	135.8	84.1
ADL	4.6	3.7	6.3	15.8	14.2	19.4	22.4	44.9	37.5	29.1
NNDF	0.9	1.1	1.4	1.7	1.8	2.1	2.6	5.8	5.6	6.4
Starch	630.7	715.6	627.1	437.8	434.6	408.6	314.2	197.0	212.0	299.0
g/16 g N										
ΣAA[2]	85.6	77.0	85.9	82.3	82.3	75.2	80.3	81.2	79.0	72.8
Lys	3.2	2.8	3.2	3.9	4.1	3.7	4.6	4.5	4.6	3.9
Thr	2.9	2.9	2.8	3.3	3.3	3.1	3.3	3.4	3.5	3.1
Met	1.7	1.7	1.7	1.9	1.7	1.6	1.7	1.8	1.7	1.5
Cys	2.0	1.9	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.8	1.7
Trp	1.1	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.5	1.5	1.3
Ala	3.7	3.2	4.1	4.5	4.6	4.1	5.1	4.5	4.8	4.4
Arg	5.3	4.0	5.2	5.9	6.6	5.9	6.7	7.3	7.2	6.1
Asp	5.4	4.5	5.6	6.4	6.3	5.8	7.1	7.6	6.9	6.0
Glu	27.7	25.3	27.7	21.5	21.3	18.3	17.6	17.0	15.9	16.0
Gly	4.1	3.7	4.3	4.5	4.7	4.4	5.0	4.6	5.2	4.4
His	2.4	2.8	2.2	2.4	2.3	2.6	2.2	2.6	2.9	2.6
Ile	3.8	3.1	3.2	3.5	3.0	2.9	2.9	3.5	3.1	2.9
Leu	6.6	5.9	6.5	6.1	6.0	5.6	5.8	6.0	5.7	5.4
Phe	4.4	4.0	4.4	4.1	3.9	3.6	4.0	4.1	3.6	3.5
Ser	4.7	4.4	4.4	4.6	4.2	4.3	4.0	4.3	4.4	4.1
Tyr	2.1	1.9	2.5	2.0	2.5	2.1	2.7	2.4	2.1	1.9
Val	4.5	3.8	4.7	4.6	4.6	4.1	4.7	4.4	4.3	4.0

[1] NL: The Netherlands, F: France, SF: Finland

[2] sum of all amino acids

Tableau 38 :**Effect of the batch within each type of by-product and effect of the type of by-product on N and amino acid ileal true digestibility (%)[1]**

Table 2

	Wheat middlings				Wheat Feed				Wheat Bran				All types	
	m[2]	se[2]	B[3]	rsd[3]	m	se	B	rsd	m	se	B	rsd	T[4]	rsd
N	93.6a	0.60	NS	1.4	85.5b	1.32	*	2.5	70.1c	3.03	NS	2.5	***	3.5
ΣAA[5]	94.3a	0.65	*	1.0	88.8b	1.18	**	1.5	76.4c	1.71	NS	1.5	***	2.3
Lys	90.8a	1.04	NS	3.0	86.6b	1.12	0.07	2.5	68.3c	1.95	NS	2.5	***	4.1
Thr	90.4a	0.93	NS	2.1	83.3b	1.48	**	2.0	68.4c	2.22	NS	2.0	***	3.2
Met	95.1a	0.39	NS	1.6	91.5b	0.49	NS	1.5	78.9c	2.97	*	1.5	***	2.4
Cys	94.2a	0.58	0.06	0.9	85.1b	1.27	***	1.0	74.5c	2.95	*	1.0	***	2.2
Trp	91.2a	0.90	NS	2.5	85.5b	0.54	NS	2.2	76.4c	3.02	**	2.2	**	2.4
Ala	86.5a	2.81	***	1.3	81.2b	3.28	***	2.8	64.6c	3.14	NS	2.8	**	4.1
Arg	95.5a	0.54	NS	1.1	93.9b	0.54	*	1.0	86.9c	1.68	*	1.0	**	1.5
Asp	90.1a	1.15	**	1.0	84.8b	1.61	*	2.5	70.0c	1.49	NS	2.5	***	3.3
Glu	97.3a	0.33	0.07	0.6	93.5b	0.82	**	1.1	84.7c	1.04	NS	1.1	***	1.7
Gly	93.4a	0.96	0.06	1.5	84.4b	1.26	*	2.2	67.9c	1.31	NS	2.2	***	3.5
His	95.8a	0.38	0.08	0.6	90.2b	0.87	**	1.2	80.5c	2.74	*	1.2	***	1.8
Ile	93.4a	0.76	NS	1.6	87.9b	1.06	**	1.6	74.7c	2.86	0.06	1.6	***	2.6
Leu	94.3a	0.66	NS	1.3	88.7b	1.15	**	1.5	74.6c	2.49	0.07	1.5	***	2.4
Phe	95.1a	0.71	*	0.9	90.3b	1.35	***	1.0	78.2c	2.33	0.08	1.0	***	2.3
Ser	94.6a	0.37	NS	1.2	87.9b	1.08	**	1.5	76.9c	1.55	NS	1.5	***	2.2
Tyr	92.6a	1.28	*	1.2	89.1b	2.03	***	1.5	77.2c	4.00	*	1.5	*	3.4
Val	91.5a	1.17	0.07	2.0	86.1b	1.56	**	1.8	71.8c	2.57	0.07	1.8	***	2.8

[1] basal endogenous losses (g/kg DMI): N: 1.145; ΣAA: 3.969; Lys: 0.261; Thr: 0.253; Met: 0.086; Cys: 0.104; Trp: 0.081; Ala: 0.293; Arg: 0.201; Asp: 0.413; Glu: 0.511; Gly: 0.405; His: 0.088; Ile: 0.193; Leu: 0.297; Phe: 0.165; Ser: 0.247; Tyr: 0.110; Val: 0.261

[2] m: mean, se: standard error

[3] effect of the batch within in each type of by-product (P-values)

[4] effect of the type of by-product tested against the batch nested within the type (P-values)

Values with different character in the same row differ significantly at *P<0.05*

NS: P>0.10; *: P<0.05; **: P<0.01; ***: P<0.001

[5] sum of all amino acids

Tableau 39 : Prediction of N and essential and semi-essential amino acids ileal true digestibility (%) in wheat milling by-products according to the ratio of ADF, CF or ADL to the amino acid and NNDF to the N concentrations in the feedstuffs

Table 3

	Intercept	sd[1]				NNDF/N[3]	sd	P[2]	rsd[4]	r² [4]
Arg	98.0	0.6				-58.5	4.9	***	1.0	94.6
Phe	98.7	1.1				-109	9	***	1.8	94.8
Tyr	96.9	2.0				-106	17	***	3.5	82.6
Val	96.0	1.2				-128	10	***	2.0	95.5
	Intercept	**sd[1]**	**ADF/AA[3]**	**sd**	**P**	**NNDF/N**	**sd**	**P**	**rsd[4]**	**r² [4]**
N	97.9	2.9	-6.50	1.12	***				4.7	80.7
ΣAA[5]	98.6	0.8	-10.2	3.0	*	-73.8	12.9	***	1.2	98.0
Lys	NS									
Thr	96.3	1.2	-0.706	0.190	**	-78.0	17.8	**	1.7	97.4
Met	100	1	-0.251	0.779	*	-62.1	15.7	**	1.5	96.9
Cys	96.4	2.3	-0.594	0.098	***				3.8	82.0
Trp	96.6	0.8	-0.312	0.047	***	-35.2	9.9	**	1.2	97.6
His	101	1	-0.547	0.107	***	-40.5	12.4	*	1.4	96.5
Ile	98.4	0.5	-0.475	0.074	***	-75.5	8.0	***	0.8	99.2
Leu	98.4	0.6	-0.781	0.160	***	-86.0	9.5	***	0.9	99.1
	Intercept	**sd[1]**	**CF/AA[3]**	**sd**	**P**	**NNDF/N**	**sd**	**P**	**rsd[4]**	**r² [4]**
N	99.1	2.5	-8.79	1.23	***				4.0	86.5
ΣAA	98.9	0.6	-14.0	3.0	***	-72.6	9.8	***	1.0	98.7
Lys	98.6	1.2	-0.644	0.280	*	-119	14	***	1.6	98.0
Thr	96.8	0.9	-0.930	0.182	***	-78.3	13.2	***	1.4	98.4
Met	100	1	-0.267	0.121	0.06	-70.9	18.2	**	1.8	95.5
Cys	97.5	1.7	-0.809	0.092	***				2.8	90.6
Trp	96.7	1.2	-0.356	0.076	***	-43.4	12.4	*	1.6	95.8
His	101	1	-0.663	0.124	***	-45.0	11.2	**	1.4	96.8
Ile	98.7	0.6	-0.585	0.116	***	-79.0	9.5	***	1.0	98.9
Leu	99.6	0.6	-0.981	0.201	***	-88.3	9.0	***	0.9	99.1
	Intercept	**sd[1]**	**ADL/AA[3]**	**sd**	**P**	**NNDF/N**	**sd**	**P**	**rsd[4]**	**r² [4]**
N	97.8	1.6	-22.2	2	***				2.7	93.8
ΣAA	98.2	0.6	-43.8	10.2	**	-57.7	13.7	**	1.1	98.6
Lys	98.1	1.1	-2.18	0.88	*	-104	19	***	1.6	98.1
Thr	95.7	0.8	-2.91	0.84	***	-55.2	17.1	*	1.4	98.4
Met	NS					-106	11	***	2.2	92.4
Cys	96.1	1.4	-1.97	0.2	***				2.5	92.3
Trp	95.9	1.1	-1.42	0.13	***				1.7	94.1
His	99.8	1.1	-2.63	0.23	***				1.7	94.2
Ile	97.9	0.7	-1.78	0.44	**	-65.1	14.7	**	1.2	98.4
Leu	98.9	0.6	-2.93	0.76	**	-76.4	14	***	1.1	98.8

[1] sd: standard deviation;

[2] P-values; *: P<0.05; **: P<0.01; ***: P<0.001

[3] ADF/AA resp. CF/AA, ADL/AA: ratio of feedstuff ADF resp. CF and ADL to amino amino acid concentrations (g/g); NNDF/N: ratio of feedstuff N in the NDF residue to total N concentrations (g/g)

[4] rsd: residual standard deviation; r²: coefficient of determination;

[5] ΣAA: sum of all amino acids

V - Ileal digestibility of amino acids in maize gluten feed for pigs

Catherine Jondreville[1], J. van den Broecke[2], F.Grosjean[1], Sabine Van Cauwenberghe[2] and F. Gâtel[1]

[1] *Technical Institute for Cereals and Forage, 3 rue des Frères Périer, 75116 Paris, France*
[2] *Eurolysine, 153 rue de Courcelles, 75817 Paris Cedex 17, France*
(Received 28 May 1999; accepted 13 January 2000)

Accepté pour publication dans Journal of Animal and Feed Sciences
J. Anim. Feed Sci., 9 (2000) 101-113.

Abstract

Seven batches of maize gluten feed (MGF) were studied for their protein and amino acid standardized ileal digestibility (SID). Each batch was tested on four castrated male pigs LW or (LW x L) x (LW x P) weighing between 40 and 69 kg, and fitted with an end-to-end ileo-rectal anastomosis. In all batches, lysine, threonine, cystine, tryptophan, aspartic acid and glycine displayed the lowest SID values (on average 62.9, 69.6, 66.7, 64.1, 69.7 and 62.4%, respectively). On the contrary, methionine, arginine, leucine, tyrosine and phenylalanine were among the most digestible amino acids and their average SID reached 84.8, 85.6, 82.3, 83.2 and 82.7%, respectively. Significant differences between batches of MGF appeared for SID of most amino acids. SID of most amino acids decreased as the proportion of N bound to the NDF residue increased.

KEY WORDS: maize gluten feed, ileal digestibility, amino acids, pigs

V - Ileal digestibility of amino acids in maize gluten feed for pigs

A - INTRODUCTION

Maize gluten feed (MGF), by-product of maize starch extraction, is made of the fibrous part of the maize grain and of maize steep liquor, approximately in the proportion of 3 to 1. Although in small proportion, maize germ meal, the chemical characterisation of which is close to the one of MGF, is sometimes added to the final product. MGF being the result of a complex industrial process, its composition and its feeding value may be variable. Although this by-product is widely used in pig feeding, only few values relative to its nitrogen (N) and amino acid (AA) ileal digestibility are available in literature (Mariscal-Landin, 1992). The aim of this study, part of a more extensive work on AA ileal digestibility in pig feeds (Jondreville et al., 1995), was to measure the N and AA standardized ileal digestibility in MGF, to evaluate the extent of its variability and to assess the relevance of analytical criteria for its prediction.

B - MATERIAL AND METHODS

B.1 - Animals

Castrated male pigs pure bred Large white or (Large White x Landrace) x (Large White x Piétrain) were surgically prepared with an end-to-end ileo-rectal anastomosis at a live weight of 25 to 30 kg according to the method described by Picard et al. (1984) and Laplace et al. (1989). The experiments lasted from 1991 to 1993 and required the preparation of 16 growing pigs used in trials as four independent groups of four animals. Each batch of MGF was tested on four animals of only one group, at one period, both selected at random (table 1). Therefore the reliability of our data was based on the initial assumption of the absence of effects, not only of pig ageing or live weight, but also of other group characteristics on AA ileal digestibility.

As described by Green et al. (1987), each test consisted of two phases: an adaptation period of five days followed by a two-day continuous collection period. This combination of the adaptation and collection periods was among those which allowed the most accurate measurement of N excreted by pigs fitted with an end-to-end ileo-rectal anastomosis (Mariscal-Landin et al., 1995). Twice a day, just after meal, digesta were transferred from cages to a refrigerator and kept at 4°C. At the end of the collection period, the digesta of each pig were homogenised and two samples were taken: one was oven-dried (80°C for 72 hours) for dry matter determination and the other one was freeze-dried prior to analysis.

B.2 - Feedstuffs, experimental diets and feeding

Seven commercial batches of maize gluten feed (MGF1 to MGF7) were selected to be representative for feed used in Europe. MGF6 originated from USA, whereas the other ones originated from European maize starch extraction plants. Each sample of MGF was ground in a hammer mill fitted with a 2 mm screen. Except for MGF4, each of them was mixed with maize starch and sucrose (1:1) and a mineral and vitamin concentrate (55 g/kg diet), so that the N content of the diets was around 31 g/kg DM (table 2). Because of its low N content, MGF4 was only mixed with the mineral and vitamin concentrate.

Animals were fed twice daily (8 a.m. and 4 p.m.) a diet in meal form mixed with water at the time of feeding (2 volumes water/1 volume meal). Drinking water was continuously available. The

feeding scale was set at 90 g meal per kg metabolic weight (Live Weight $^{0.75}$), i.e., taking into account the dry matter concentration in our maize gluten feed based diets, around 76 g dry matter ingested per kg metabolic weight. Every week, the feed supply was individually adjusted, based on weighings at four-week intervals and expected increase in live weight between weighings.

B.3 - Chemical analysis

All the chemical determinations were performed in duplicate. Each batch of MGF, each diet and each sample of digesta was analysed for N and AA. The N content was measured by the Kjeldahl method (AFNOR, 1977a), with a Kjel-foss automatic apparatus (Foss-Electric, Denmark). AA were determined on a Beckman 6300 AA analyser after 23-hour hydrolysis in HCl 6 N at 110°C (AFNOR, 1993a). Methionine and cystine were determined after oxidation with performic acid. Tryptophan was determined by HPLC followed by fluorometric detection (Kontron Instrument, France). Hydrolysis was carried out in alkaline solution of BaOH at 125°C for 16 hours (Landry and Delhaye, 1992).

The dry matter (DM) content of each batch of MGF was determined by drying to constant weight at 103°C (AFNOR, 1976). For the determination of ash content, samples were placed at 550°C for 8 hours (AFNOR, 1977b). Neutral Detergent Fibre (NDF), Acid Detergent Fibre (ADF) and Acid Detergent Lignin (ADL) determinations were sequentially carried out following the van Soest et al. (1991) method, and crude fibre (CF), according to the Weende method (AFNOR, 1993b), by means of a Fibertec system (Tecator, Sweden). The concentration of N in the NDF residue (N-NDF) was evaluated by the successive analysis of NDF and N, as described above. Fat concentration was measured without hydrolysis prior to analysis (OJEC, 1984), by means of a Soxtherm apparatus (Gerhardt, Germany). According to the Ewers method (OJEC, 1980), starch was hydrolysed by hot hydrochloric acid before measurement of specific rotation (POL.400, Isabiologie, France).

B.4 - Digestibility calculation

Apparent ileal digestibility (AID) was calculated from N and AA concentrations in the diets and in the ileal digesta. Standardized ileal digestibility (SID) was recalculated, according to the following formula, as suggested by Low (1982) :

$$\text{SID AA (\%)} = \text{AID AA (\%)} + \frac{\text{Basal endogenous AA (g/kg DMI)} \times 100}{\text{Dietary AA (g/kg DM)}}$$

For this correction, assumption was made that the basal endogenous losses were in constant proportion to the amount of dry matter ingested (DMI). The basal endogenous output was previously determined in our laboratory (unpublished results), in 20 replicates, on pigs weighing on average 70 kg, prepared and managed according to the above described procedure, and fed a protein-free diet made of maize starch (580 g per kg), sugar (300 g per kg), wood cellulose (35 g per kg), soya oil (30 g per kg) and a mineral and vitamin concentrate (55 g per kg). The values of basal endogenous losses are given in table 4.

B.5 - Data analyses

The effect of the batch of MGF (B) on N and AA SID was analysed using the pig live weight (LW) as covariate; the LWxB interaction also was tested. The introduction of LW in the model aimed at checking the absence of its effect on SID. However, the effect of group of pigs could not be tested independently of the batch of MGF. Attempts for prediction of N and AA SID were made through regressions of the SID values on the chemical characteristics of the diets (g/kg

DM) and on the ratios of the analytical data to the AA concentrations, as suggested by Sève et al. (1994). The analyses were performed using the MINITAB statistical software (MINITAB, 1996), by means of the GLM procedure, for the analyses of variance, and by means of the STEPWISE procedure, for the regression analyses.

C - RESULTS

For MGF5, digestibility was calculated on three replicates only because of the death one pig during experiments (table 1). On an average the level of feeding of pigs ranged from 73 to 80 g DM/kg $LW^{0.75}$. The average live weight of pigs fed the different batches of MGF ranged from 42 to 61 kg.

C.1 - Composition of MGF

The composition of each batch of MGF is given in tables 2 and 3. The starch, ash and fat concentrations roughly doubled from MGF6 to MGF4, from MGF5 to MGF6 and from MGF5 to MGF7 and MGF4, respectively. The N and NDF concentrations were less variable as they increased by 23% from MGF4 to MGF3 and by 36% from MGF5 to MGF3, respectively. Except for CF and ADF (r=0.83, *P*<0.05), ash and ADF (r=0.85, *P*<0.05), and N and N-NDF (r=-0.83, *P*<0.05), the analytical criteria were not correlated together. Particularly, the proportion of ADF in NDF was variable as it was around 24 to 26% in all batches except in MGF5 and MGF6, the ADF content of which reached 30% and 35% of the NDF, respectively.

Glutamic acid displayed the highest concentration, followed by leucine, alanine, arginine and aspartic acid, whereas tryptophan content was the lowest, followed by methionine and cystine. There was a relationship between N-NDF and the AA profile of protein: the proportion of lysine, tryptophan, aspartic acid and glycine in protein tended to increase with N-NDF (r=0.93, 0.95, 0.95 and 0.93, *P*<0.01, respectively), whereas the proportion of cystine and glutamic acid tended to decrease (r=-0.91, *P*<0.01 and -0.76, *P*<0.05, respectively).

C.2 - Standardized Ileal Digestibility

The results of the analysis of variance and the SID values are presented in table 4. The LWxB interaction was significant (*P*<0.05) for phenylalanine and tyrosine: the digestibility of these two AA increased with the pig live weight in MGF2, whereas it was independent of the pig live weight in the other batches. As the interaction LWxB was significant for these two AA only, the results presented are relative to the model without interaction. No effect of the pig live weight was detected, whereas the batch of MGF had a significant effect on the digestibility of N and most AA except for threonine, arginine, glutamic acid and glycine.

Overall, MGF2, MGF5 and MGF7 displayed the highest digestibility values, and MGF1 and MGF4 the lowest. The largest significant differences between batches were observed for tryptophan, N and cystine (13.6, 13.0 and 11.2 percentage units, respectively), whereas the smallest significant differences were observed for isoleucine and valine (6.1 and 6.2 percentage units, respectively). In all batches, lysine, threonine, cystine, tryptophan, aspartic acid and glycine were among the least digestible amino acids whereas methionine, arginine, leucine, tyrosine and phenylalanine were among the most digestible ones.

C.3 - Prediction of standardized ileal digestibility

None of the analytical criteria were relevant predictors of the SID of threonine, tryptophan,

arginine, glutamic acid, glycine and histidine. For the other amino acids, the ratio of N-NDF to total N concentrations provided the equations with the lowest residual standard deviation and the highest coefficient of determination. The SID of lysine, cystine, alanine, aspartic acid, leucine, phenylalanine and valine decreased significantly *(P<0.05)* as the proportion of N bound to the NDF residue increased. There was a trend (*P*<0.10) toward a decrease of SID of N, isoleucine and serine, with the increase in this ratio (table 5).

D - DISCUSSION

D.1 - Composition of MGF

The composition of the batches is in the range reported in the electronic IO7 data base (AFZ,1998) for more than 700 batches of MGF collected in France (N=27 to 42, CF=47 to 111, ash=39 to 103 and starch=91 to 362 g/kg DM). The overall absence of correlations between the analytical criteria is probably the result of the variability in the processes implemented during starch extraction, as well as the variability in the level of incorporation of the ingredients (corn steep liquor, envelopes and sometimes maize germ meal), a maize gluten feed is made from. The negative correlation between N-NDF and N may originate from an increasing level of incorporation of corn steep liquor, rich in N, and, consequently, a decreasing level of incorporation of fibrous residues in the final product. Accordingly, N-NDF is positively correlated with the concentrations of lysine, tryptophan, aspartic acid and glycine, mainly located in the fibrous part of the maize grain, and negatively correlated with glutamic acid, mainly located in the starchy endosperm of maize (Chung and Pomeranz, 1985; Landry and Moureaux, 1980).

D.2 - Standardized ileal digestibility

The analysis of the effect of live weight confirmed that this parameter is of little influence on ileal digestibility of amino acids in growing pigs. This is in accordance with previous demonstration that the end-to-end ileo-rectal anastomosis is appropriate to study ileal digestibility of amino acids in growing pigs, even in the long term (Laplace et al., 1994; Bodin et al., 1998). No obvious explanation appeared for the significant LWxB interaction observed for phenylalanine and tyrosine. However, it should be considered with care as the effect of the animal, confounded with the effect of live weight in our experimental design, may have influenced the results.

On average, the SID of N in MGF was by 19.5 percentage units lower than in maize (Jondreville et al., 2000a). Our SID values were quite low compared to other literature data: with a single batch of MGF (CF=112 and N=39 g/kg DM), Mariscal-Landin (1992) calculated that the SID of N reached 75.9% and the value reported in the Rhodimet Nutrition Guide (RPAN, 1993) reaches 74%. These authors also reported high SID values for methionine, alanine, arginine, leucine, phenylalanine and tyrosine and low SID values for lysine, threonine, cystine, aspartic acid and glycine. Overall, AA were similarly ranked, regarding their SID, in maize and in MGF (Jondreville et al., 2000a). However, the extent of the difference in SID between maize and MGF differed according to the AA. Overall, the lower the digestibility, the greater the difference: large differences were observed for lysine, aspartic acid and glycine (20.5, 18.9 and 20.7 percentage units respectively), whereas small differences were observed for methionine, arginine, leucine, phenylalanine and tyrosine (8.7, 5.8, 10.5, 8.8, 6.2 percentage units respectively).

By calculating SID, no attempt for evaluating the possible influence of the nature of the feedstuff on total endogenous losses was made. The correction of AID for basal endogenous losses only aimed at avoiding the digestibility results to be biased by the dietary level of N and AA (Fan et al., 1994; Sève and Henry, 1996) and at getting additive values of digestible AA supply (Furuya and Kaji, 1991). However, there is evidence that total endogenous losses largely exceed basal endogenous losses. Even corrected for basal endogenous N losses, ileal N thus contains variable amounts of specific endogenous N, depending on the characteristics of the feedstuff (e.g. De Lange et al., 1990; Grala et al., 1998). Thus, factors affecting either the feed specific endogenous losses, or the undigested dietary fraction, or both, may influence the ranking of AA within a single batch, as well as the differences between the batches.

Dietary fibre may impair SID by encapsulating dietary proteins and limiting their access to digestive enzymes (Green et al., 1987; Leterme et al., 1989, Sève et al., 1994). This phenomenon probably explains the low digestibility of lysine, aspartic acid and glycine, located in the most fibrous part of the maize grain and the high digestibility leucine, tyrosine and phenylalanine, mainly located in the endosperm fraction of the maize grain. As reported by Sève et al. (1994) and Jondreville et al. (2000b) in wheat milling by-products, the proportion of N bound to the NDF residue is a relevant predictor for SID of N and most AA in MGF. However, in most cases, this criteria, which may account for the variable level of recovery of dietary AA, explains less than 65% of the total variability.

Relatively high concentrations of lysine, threonine and particularly tryptophan in the endogenous protein, compared to dietary protein, undoubtedly contributed to their overall low SID in MGF. Many authors reported increasing amounts of N ileal endogenous losses with increasing amounts of dietary fibre (Sauer et al., 1977; Green et al., 1987; Mariscal-Landin et al., 1995, Schulze et al., 1995). SID was then expected to decrease with the increase in dietary fibre concentration. Such a decrease was observed by Sève et al. (1994) and Jondreville et al. (2000b) in wheat milling by-products. In these studies, the ratio of the dietary ADF or ADL to AA concentrations were relevant predictors for SID of most AA. The absence of relevance of any of the fibre criteria in the present study may originate from their low variability in MGF: the proportion of N bound to the NDF residue varied by 250%, whereas the ratios of dietary ADF to AA concentration varied roughly by 60%. In wheat milling by-products, the two criteria varied by about 300% from wheat middlings to wheat bran. It may also be due to either the great variability in the fibre composition of these by-products, or to the lack of relevance of the classical analytical characterisations we performed for a reliable description of fibre in MGF.

At the end, despite the large variability of the batches of MGF we used, both in terms of industrial origin and of composition, a quite simple criteria (N-NDF) allows to explain part of the variability in SID of most AA. However, further investigations, both for a better characterisation of these feedstuffs and for a better understanding of the factors influencing endogenous losses in pigs fed such by-products, are required for a more accurate prediction of AA SID.

Acknowledgement

Part of the results were obtained with the financial support of the Ministère français de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (ACTA programme) and the European Commission (CAMAR CT 91-0112). The work was performed in collaboration with MENGVOEDER UT-DELFIA (NL), SUOMEN REHU (SF) and SANOFI SANTE NUTRITION ANIMALE (F). The authors wish to thank the staffs of the ITCF pig unit research, laboratory and methods department, as well as of the EUROLYSINE laboratory, for their technical assistance. They gratefully acknowledge B. Sève (Institut National de la Recherche Agronomique, F), R. Pinot (SANOFI SANTE NUTRITION ANIMALE, F), D. Sauvant (Institut National Agronomique de Paris-Grignon, F) and G. Rychen (Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, Nancy, F) for their advises in preparing this paper.

E - REFERENCES

AFNOR, 1976. Détermination de la teneur en eau. NF V 03-707. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense

AFNOR, 1977a. Dosage de l'azote en vue du calcul de la teneur en protéines brutes. NF V 18-100. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense

AFNOR, 1977b. Dosage des cendres brutes. NF V 18-101. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense

AFNOR, 1993a. Aliments des animaux, dosage des acides aminés. NF V 18-113. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense

AFNOR, 1993b. Détermination de la cellulose brute, méthode générale. NF V 03-040. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense

AFZ, 1998. IO7, Banque de Données de l'Alimentation Animale. Version 4.0, November 1998, Association Française de Zootechnie, Paris

Bodin J.C., McMillan E., Maillard R., van Kempen T., Williams P.E.V., 1998. Effect of time post-surgery on the measurement of ileal digestibility in ileal rectal anastomosed pigs. In: Proc. Brit. Soc. of Anim. Sci.. Scarborough, UK, p 168

Chung O. K., Pomeranz Y., 1985. Amino acids in cereal proteins and protein fractions. In: J. W Finley, D. T. Hopkins (Editors). Digestibility and amino acids availability in cereals and oilseeds. American Association of Cereal Chemists. St Paul, Minnesota, pp 65-107

De Lange C.F.M., Souffrant W.B., Sauer W.C., 1990. Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determined with the ^{15}N-isotope dilution technique. J. Anim. Sci. 68, 409-418

Fan M.Z., Sauer W.C., Hardin R.T., Lien K.A., 1994. Determination of apparent ileal digestibility in pigs: effect of dietary amino acid level. J. Anim. Sci. 72, 2851-2859

Furuya S., Kaji Y., 1991. Additivity of the apparent and true ileal digestible amino acid supply in barley, maize, wheat or soya-bean meal based diets for growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 32, 321-331

Grala W., Verstegen M.W.A., Jansman A.J.M., Huisman J., van Leeuwen P., 1998. Ileal apparent protein and amino acid digestibilities and endogenous nitrogen losses in pigs fed soybean and rapeseed products. J. Anim. Sci. 76, 557-568

Green S., Bertrand S.L., Duron M.J.C., Maillard R.A., 1987. Digestibility of amino acids in maize, wheat and barley meal measured in pigs with ileo-rectal anastomosis and isolation of the large intestine. J. Sci. Food Agr. 41, 29-43

Jondreville C., van den Broecke J., Gâtel F., Van Cauwenberghe S., 1995. Ileal digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs. Eurolysine-ITCF, Paris, 53 pp

Jondreville C., van den Broecke J., Grosjean F., Van Cauwenberghe S., Gâtel F., 2000a. Feeding value of cereals in pigs. 1. Analytical characterisation and ileal true digestibility of amino acids in wheat, triticale, barley, rye, maize and sorghum. Submitted for publication in: Anim. Feed Sci. Technol.

Jondreville C., van den Broecke J., Grosjean F., Van Cauwenberghe S., Gâtel F., 2000b. True ileal digestibility of amino acids in wheat milling by-products for pigs. Submitted for publication in: Ann. Zootech.

Landry J., Moureaux T., 1980. Distribution and amino acid composition of protein groups located in different histological part of maize grain. J. Agr. Food Chem. 28, 1186-1190

Landry J., Delhaye S., 1992. Simplified procedure for determination of tryptophan of foods and feedstuffs from barytic hydrolysis. J. Agr. Food Chem. 40, 776-779

Laplace J. P., Darcy-Vrillon B., Perez J. M., Henry Y., Giger S., Sauvant D., 1989. Associative effect of feeding different protein-free diets between two fibre sources on ileal and overall digestibilities of amino acids, energy and cell-wall components in growing pigs. Brit. J. Nutr. 61, 75-87

Laplace J.P., Souffrant W.B., Hennig U., Chabeauti E., Février C., 1994. Measurement of precaecal dietary protein and plant cell wall digestion in pigs : comparison of four surgical procedures for ileorectal anastomosis. Livest. Prod. Sci. 40, 313-328

Leterme P., Thielemans C., Bodart C., Baudart E., Thewis A., 1989. Valeur nutritive et digestibilité apparente iléale et fécale du triticale, du froment et de l'escourgeon chez le porc. Rev. Agric. 42, 305-316

Low A.G., 1982. Digestibility and availability of amino acids from feedstuffs for pigs: a review. Livest. Prod. Sci. 9, 511-520

Mariscal-Landin G., 1992. Facteurs de variation de l'utilisation digestive des acides aminés chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, 134 pp

Mariscal-Landin G., Sève B., Colleaux Y. and Lebreton Y., 1995. Endogenous amino nitrogen collected from pigs with end-to-end ileorectal anastomosis is affected by the method of estimation and altered by dietary fiber. J. Nutr. 125, 136-146

MINITAB. 1996. MINITAB reference manual (release 11), MINITAB Inc., USA

OJEC. 1980. Dosage de l'amidon-méthode polarimétrique. EEC 3e-72/199 et rectif.. Off. J. Eur. Communities

OJEC. 1984. Dosages des matières grasses brutes. EEC 2e-71/393 mod.84/4. Off. J. Eur. Communities

Picard M., Bertrand S., Genin F., Maillard R., 1984. Digestibilité des acides aminés: intérêt de la technique du shunt iléo-rectal chez le porc. Journées Rech. Porcine en France 16, 355-360

RPAN 1993. Rhodimet™ Nutrition Guide. Formulation des aliments en acides aminés digestibles. 2eme Edition. Rhône Poulenc Animal Nutrition, Antony, 54 pp.

Sauer W.C., Stothers S.C., Parker R.J., 1977. Apparent availabilities of amino acids in wheat and milling by-products in growing pigs. Can. J. Anim. Sci. 54, 775-784

Schulze H., van Leeuven P., Verstegen M.W.A., van den Berg J.W.O., 1995. Dietary level and source of neutral detergent fiber and ileal

endogenous nitrogen flow in pigs. J. Anim. Sci. 73, 441-448

Sève B., Henry Y., 1996. Protein utilization in non ruminants. In: A.F Nunes, A.V Portugal; J.P Costa, J.R. Ribeiro (Editors). Proc. VIIst Symp. on Protein Metabolism and Nutrition, EAAP Publication n°81, Vale de Santarem, Portugal, pp 59-82

Sève B., Mariscal-Landin G., Février C., Lechevestrier Y., 1994. Prédiction de la digestibilité iléale des acides aminés chez le porc: le cas des issues de blé. Journées Rech. Porcine en France 26, 259-266

van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74, 3583-3597

Tableau 40 : Distribution of pigs fed the batches of maize gluten feed among groups of pig, number of pigs (n), average feeding level (FL, g DM/kg $LW^{0.75}$) and live weight (LW, kg)

Table 1

	MGF1	MGF2	MGF3	MGF4	MGF5	MGF6	MGF7
Group	1	1	1	1	2	3	4
n	4	4	4	4	3	4	4
FL	79 (3)[1]	76 (4)	80 (1)	79 (4)	74 (3)	73 (3)	79 (3)
LW	59 (5)	61 (9)	59 (8)	59 (7)	46 (2)	42 (2)	49 (1)

[1] standard deviation

Tableau 41 : Chemical composition of maize gluten and formulation of diets

Table 2

	MGF1	MGF2	MGF3	MGF4	MGF5	MGF6	MGF7
Chemical composition of MGF, g/kg DM							
N	35.0	36.8	39.2	31.8	37.9	34.9	38.4
Fat	33.1	22.5	28.2	40.9	21.2	33.5	49.5
CF	83.2	77.8	92.7	75.0	79.3	93.9	80.6
Ash	65.0	55.2	63.3	61.4	54.7	109.5	83.1
NDF	388.0	378.0	413.7	389.2	304.4	384.7	366.1
ADF	98.4	90.4	105.6	95.0	92.8	133.9	94.0
ADL	12.4	7.4	10.9	12.2	8.2	24.4	9.3
N-NDF	8.0	3.5	6.2	11.0	3.9	7.3	4.1
Starch	256.6	235.6	188.7	355.7	232.4	154.2	202.1
Formulation of diets, g/kg DM							
MGF	886	855	813	945	849	864	772
Starch/sucr.[1]	59	90	132	-	96	81	173
Min./vit. conc.[2]	55	55	55	55	55	55	55

[1] Maize starch and sucrose mixture (1:1)

[2] The mineral and vitamin concentrate provided per kg DM feed: 303 mg $MgCl_2$.6H2O; 303 mg KCl; 8437 mg NaCl; 22000 mg $NaHCO_3$; 9548 mg $CaHPO_4$; 10849 mg $CaCO_3$; 512 mg; $FeSO_4.7H_2O$; 303 mg $ZnSO_4.1H_2O$; 80 mg $CuSO_4.5H_2O$; 121 mg $MnSO_4.1H_2O$; 5 mg $CoCO_3$; 2 mg $Ca(IO_3)_2$; 27500 IU vit. A ; 2200 IU vit. D3; 4070 IU vit. E; 21 mg vit. K3; 6 mg vit. B1; 14 mg vit. B2; 13 mg vit. B6; 51 mg vit. PP; 80 mg vit. C; 1 mg folic acid; 70 mg vit. B12 ; 0.03 mg biotin; 30 mg vit. B3; 804 mg choline ; 50 mg carbadox

Tableau 42 : Amino acid composition of maize gluten feed protein, g/16g N

Table 3

	MGF1	MGF2	MGF3	MGF4	MGF5	MGF6	MGF7
ΣAA[1]	74.5	72.4	72.4	76.4	74.3	70.8	71.8
Lys	3.3	2.6	3.1	3.8	2.9	3.2	2.4
Thr	3.4	3.1	3.3	3.4	3.3	3.2	3.4
Met	1.8	1.6	1.8	1.9	1.7	1.5	1.7
Cys	1.8	2.1	1.8	1.5	2.0	1.6	2.0
Trp	0.8	0.6	0.7	1.0	0.5	0.7	0.4
Ala	6.4	7.1	5.8	6.0	6.1	5.1	7.2
Arg	4.5	4.5	5.3	5.6	4.7	5.2	3.0
Asp	5.6	4.8	5.7	6.5	4.9	6.0	4.8
Glu	13.7	14.4	13.3	13.3	15.0	14.2	14.2
Gly	4.4	3.9	4.2	4.7	3.8	4.0	3.7
His	2.8	2.7	2.8	2.7	2.6	2.7	3.2
Ile	3.1	2.9	2.9	3.3	3.0	3.1	2.8
Leu	8.1	8.6	7.3	7.5	8.8	6.8	9.1
Phe	3.7	3.2	3.3	3.8	3.7	3.3	3.4
Ser	4.2	4.0	4.1	4.3	4.2	3.9	4.1
Tyr	2.3	2.3	2.5	2.2	2.8	2.2	2.2
Val	4.5	4.1	4.5	4.7	4.2	4.1	4.2

[1] sum of all amino acids

Tableau 43 : Effects of pig live weight (LW) and batch of maize gluten feed on nitrogen and amino acid standardized ileal digestibility[1]

Table 4

	MGF1	MGF2	MGF3	MGF4	MGF5	MGF6	MGF7	P[2] LW	P[2] Batch	r.s.d.[3]
N	61.8 (3.1)[4]	68.3 (2.0)	63.4 (2.4)	62.2 (4.2)	70.3 (1.1)	69.4 (2.4)	74.8 (3.7)	NS	**	3.0
Lys	62.4 (2.6)	65.4 (2.6)	59.9 (1.2)	57.7 (3.7)	65.9 (0.6)	64.7 (3.1)	64.6 (5.9)	NS	*	3.4
Thr	70.1 (4.6)	71.9 (1.8)	68.8 (1.2)	68.8 (4.3)	68.1 (0.5)	68.3 (2.2)	71.1 (5.1)	NS	NS	3.4
Met	80.1 (3.0)	85.0 (1.1)	86.1 (2.5)	82.5 (4.0)	87.8 (2.3)	83.3 (3.1)	89.0 (3.6)	NS	*	3.0
Cys	63.0 (6.2)	69.4 (3.9)	62.0 (1.6)	60.4 (1.6)	71.1 (4.9)	69.3 (4.2)	71.6 (9.4)	NS	*	5.1
Trp	59.2 (3.9)	65.0 (3.6)	61.3 (2.9)	59.9 (4.6)	64.8 (2.8)	65.9 (2.4)	72.8 (4.5)	NS	**	3.7
Ala	75.9 (1.7)	82.8 (1.6)	78.3 (1.3)	75.0 (2.1)	81.5 (0.2)	77.4 (1.8)	83.4 (3.0)	NS	***	1.9
Arg	86.7 (1.6)	86.7 (3.3)	83.4 (2.4)	86.5 (1.3)	87.0 (2.0)	82.9 (1.9)	86.2 (3.6)	NS	NS	2.5
Asp	67.5 (3.5)	73.0 (2.1)	69.5 (1.1)	65.7 (3.5)	72.9 (1.1)	70.1 (2.3)	69.4 (4.6)	NS	*	3.0
Glu	76.8 (2.0)	79.6 (1.8)	75.8 (0.9)	77.0 (2.0)	77.0 (2.2)	80.8 (1.1)	77.1 (5.7)	NS	NS	2.8
Gly	60.3 (6.6)	63.2 (4.4)	59.6 (3.4)	57.4 (7.3)	62.6 (1.7)	70.6 (1.8)	63.5 (6.0)	NS	NS	4.9
His	70.2 (2.5)	73.4 (1.8)	70.9 (1.0)	69.6 (1.0)	72.4 (0.3)	74.1 (1.2)	80.3 (4.2)	NS	***	2.2
Ile	73.6 (1.6)	77.7 (1.8)	73.6 (1.1)	73.2 (1.2)	76.0 (0.3)	76.2 (1.8)	79.3 (4.1)	NS	**	2.1
Leu	79.2 (1.5)	85.1 (1.1)	79.9 (0.7)	78.6 (0.8)	83.0 (1.0)	83.6 (0.9)	86.6 (3.5)	NS	***	1.7
Phe	79.6 (1.3)	85.6 (4.7)	82.2 (1.7)	80.9 (2.5)	83.1 (1.9)	82.1 (1.4)	85.2 (3.0)	-	-	2.7
Ser	73.9 (3.8)	78.6 (2.1)	75.1 (0.3)	75.3 (4.0)	77.6 (1.5)	74.0 (1.8)	80.5 (3.8)	NS	*	2.9
Tyr	83.3 (4.5)	84.4 (3.3)	82.7 (2.4)	81.7 (3.4)	85.9 (1.6)	81.1 (1.5)	83.4 (2.6)	-	-	2.9
Val	69.5 (2.4)	74.3 (1.8)	72.2 (1.4)	70.7 (1.1)	74.4 (0.8)	71.0 (2.2)	75.7 (4.6)	NS	*	2.4

[1] expressed as percentage units – The following values of basal endogenous losses were used for calculation of SID, g/kg DMI: N: 1.145; Lys: 0.261; Thr: 0.253; Met: 0.086; Cys: 0.104; Trp: 0.081; Ala: 0.293; Arg: 0.201; Asp: 0.413; Glu: 0.511; Gly: 0.405; His: 0.088; Ile: 0.193; Leu: 0.297; Phe: 0.165; Ser: 0.247; Tyr: 0.110; Val: 0.261

[2] probability, NS: $P>0.10$, *: $P<0.05$, **: $P<0.01$, ***: $P<0.001$

[3] residual standard deviation

[4] standard deviation

Tableau 44 : Prediction of nitrogen and amino acid standardized ileal digestibility (%) in maize gluten feed according to the ratio of the N concentration in the NDF residue (N-NDF) to the total N concentration (g/g)

Table 5

	Intercept	s.d.[1]	N-NDF/N	s.d.[1]	P[2]	R^2 [3]	r.s.d.[4]
N	73.7	(3.4)	37.1	(17.4)	0.09	47.7	3.8
Lys	67.8	(1.8)	27.2	(9.4)	*	62.9	2.1
Met	89.2	(2.1)	24.9	(10.5)	0.06	52.9	2.3
Cys	73.8	(2.9)	39.8	(14.9)	*	58.7	3.3
Ala	85.2	(1.3)	33.9	(6.9)	**	83.0	1.5
Asp	74.3	(1.3)	25.4	(6.5)	*	75.4	1.4
Ile	79.0	(1.6)	18.7	(8.0)	0.07	52.5	1.8
Leu	86.9	(2.0)	25.8	(10.0)	*	57.4	2.2
Phe	86.0	(1.3)	18.4	(6.8)	*	59.8	1.5
Ser	79.8	(1.8)	18.7	(9.1)	0.10	45.8	2.0
Tyr	85.4	(1.1)	12.5	(5.8)	0.08	48.5	1.3
Val	76.2	(1.3)	20.7	(6.7)	*	65.9	1.5

[1] standard deviation

[2] probability, *: $P<0.05$, **: $P<0.01$

[3] coefficient of determination

[4] residual standard deviation

VI - Ileal amino acid digestibility and estimates of endogenous amino acid losses in pigs fed rapeseed meal, sunflower meal and soybean meal

C. Jondreville[1,3], J. van den Broecke[2], F. Gâtel[1], F.Grosjean[1], S. Van Cauwenberghe[2] and B. Sève[3]

[1] *Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 3 rue des Frères Périer, 75116 Paris, France, e-mail:fgatel@itcf.fr*; [2] *Eurolysine, 153 rue de Courcelles, 75817 Paris Cedex 17, France, and* [3] *Institut National de la Recherche Agronomique, Unité mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles, France*

Accepté pour publication dans *Canadian Journal of Animal Science*

Four commercial samples of rapeseed meal (RSM), four of sunflower meal (SFM) and nine of soybean meal (SBM) were analysed and studied for their ileal nitrogen (N) and amino acid (AA) digestibility in growing pigs. Each batch was tested on four castrated male pigs, weighing between 40 and 100 kg, and fitted with an end-to-end ileo-rectal anastomosis. True ileal digestibility (TD) of AA was calculated by correcting apparent ileal digestibility for basal endogenous AA losses, measured by means of a protein-free diet. For RSM and SBM, total endogenous gut AA losses were estimated by a multiple regression model and real ileal digestibility (RD) of AA was calculated. In RSM, average TD of lysine, threonine and methionine were 70.7, 73.2 and 86.0%, respectively. These values were 80.0, 81.8 and 91.9%, respectively in SFM and 90.5, 86.8 and 93.0%, respectively in SBM. In SBM, TD decreased (*P<0.05*) with increases in the ratio of dietary ADF to AA contents. Expressed as g kg^{-1} DM intake, total endogenous gut N losses reached 4.7 to 6.4 for RSM and 1.9 to 3.5 for SBM. For SBM, they increased (*P<0.001*) with dietary ADF concentration and RD of most AA decreased (*P<0.05*) with the increase in the ratio of dietary NDF to AA concentrations.

Key words: oilseed meal, ileal digestibility, amino acid, endogenous losses, pig

Digestibilité iléale des acides aminés et estimation des pertes azotées endogènes chez le porc en croissance alimenté à base de tourteau de colza, de tourteau de tournesol et de tourteau de soja

Quatre lots commerciaux de tourteau de colza (TC), quatre de tourteau de tournesol (TT) et neuf de tourteau de soja (TS) ont fait l'objet d'une analyse chimique et d'une mesure de la digestibilité iléale de l'azote (N) et des acides aminés (AA). Chaque lot a été testé sur quatre porcs, mâles, castrés, préparés en anastomose iléo-rectale termino-terminale et pesant entre 40 et 100 kg. La digestibilité iléale vraie (DV) a été calculée en corrigeant la digestibilité apparente de l'excrétion endogène basale, mesurée au moyen d'un aliment protéiprive. Pour le TC et le TS, la digestibilité iléale réelle (DR) a été calculée en corrigeant la DA de l'excrétion endogène totale d'AA, estimée par régression multiple. Les DV moyennes de la lysine, la thréonine et la méthionine du TC étaient respectivement de 70.7, 73.2 et 86.0%. Elles atteignaient respectivement 80.0, 81.8 et 91.9%, pour le TT et 90.5, 86.8 et 93.0%, pour le TS. La DV des AA du TS diminuait (*P<0.05*) avec l'augmentation de la teneur en ADF de l'aliment rapportée à sa teneur en AA. Exprimée en g par kg de matière sèche ingérée, l'excrétion endogène totale d'N atteignait 4.7 à 6.4 pour le TC et 1.9 à 3.5 pour le TS. Pour le TS, elle augmentait (*P<0.001*) avec la teneur de l'aliment en ADF et la DR des AA diminuait (*P<0.05*) avec l'augmentation de la teneur en NDF de l'aliment rapportée à sa teneur en AA.

Mots clés: tourteau d'oléagineux, digestibilité iléale, pertes endogènes, acide aminé, porc

Abbreviations: AA, amino acid; **AD,** apparent ileal digestibility; **ADF,** acid detergent fibre; **ADL,** acid detergent lignin; **CF,** crude fibre; **DM,** dry matter; **LW,** live weight; **N,** nitrogen; **NDF,** neutral detergent fibre; **RD,** real ileal digestibility; **RSM,** rapeseed meal; **SBM,** soybean meal; **SFM,** sunflower meal; **TD,** true ileal digestibility; **T.I.A.,** trypsin inhibitor activity

VI - Ileal amino acid digestibility and estimates of endogenous amino acid losses in pigs fed rapeseed meal, sunflower meal and soybean meal

A - INTRODUCTION

The ileal digestibility of nitrogen (N) and amino acids (AA) in oilseed meals for pigs has been widely studied. Numerous data are available for soybean meal (e.g. Chang et al. 1987; Furuya and Kaji 1991), rapeseed and canola meal (e.g. Grala et al. 1994; de Lange et al. 1998) and sunflower meal (e.g. Green and Kiener 1989). However, differences in methods used to generate data and means to express digestibility hamper comparisons among data sets. Indeed, apparent ileal digestibility (AD) values are biased by the AA concentration in the experimental diet (Fan et al. 1994). Correcting total ileal AA flow for basal endogenous losses helps to overcome this methodological problem and ensures additivity of digestibility values in mixtures of feed ingredients (Furuya and Kaji 1991; Sève and Henry 1996). Resulting true or standardised ileal digestibility (TD) values have been widely used for practical feed formulation (e.g. Rhône Poulenc Animal Nutrition 1993; Jondreville et al. 1995; Centraal Veevoederbureau 1998; National Research Council 1998; Rademacher et al. 1999).

However, there is evidence that total endogenous gut N losses largely exceed basal endogenous losses (e.g. Nyachoti et al. 1997b). Thus, even when corrected for basal endogenous N losses, ileal N contains variable amounts of specific endogenous N, depending on the characteristics of the diet. Correction of AD for total endogenous losses leads to real ileal digestibility (RD), according to the terminology proposed by Low (1982). Moreover, it is established that production of endogenous gut N involves additional energy and AA costs to the pig (Sève and Henry 1996; Nyachoti et al. 1997b, Grala et al. 1997). In this respect, special attention has recently been paid to distinguish between endogenous and dietary N losses at the end of the ileum for pigs fed different feedstuffs. Such information was reported for oilseed meals (Caine et al. 1997; Nyachoti et al. 1997a; Grala et al. 1998 and 1999). However, there is still a need to clarify which dietary factors affect the recovery of endogenous as well as dietary AA at the end of the ileum.

The objective of this study, part of a more extensive work on ileal digestibility of N and AA in pig feeds (Jondreville et al. 1995), was to determine TD of N and AA and to estimate endogenous gut N losses in various samples of rapeseed meal (RSM), sunflower meal (SFM) and soybean meal (SBM). Four samples of RSM and of SFM, and nine samples of SBM were selected. An additional aim was to identify dietary factors that contribute to variability in digestibility values and endogenous gut N losses between samples of SBM.

B - MATERIALS AND METHODS

B.1 - Animals and Procedures

The experiments were conducted under the guidelines of the French Ministry of Agriculture for animal research. The procedures met Canadian Council on Animal Care (1993) guidelines for animal care. Animals were castrated male pure bred Large white or (Large White x Landrace) x (Large White x Piétrain) pigs. They were surgically prepared with an end-to-end ileo-rectal anastomosis at a live weight (LW) of 25 to 30 kg according to the method described by Picard et al. (1984) and Laplace et al. (1989). Under halothane anaesthesia, a mid-

line incision from the navel to the pubis gave access to the distal digestive tract. The ileum was cut 50 mm above the ileo-caeco-colic junction and the distal section was closed by an invagination. The rectum was cut at the level of the pubic bone. A plastic T-cannula was inserted into the proximal section of the caeco-colic area and exteriorised through a small incision in the right flank of the of the animal. This cannula, removed at the end of the recovery period, allowed the extracorporeal emptying of the residual digesta and gases from the caecum and colon. These segments were thus completely disconnected from the functional gastrointestinal tract. The proximal section of the ileum and the distal section of the rectum were anastomosed end-to-end. This surgical preparation allowed the total collection of ileal digesta directly excreted via the anus. Antibiotics were applied to the peritoneal cavity and two additional intramuscular injections were given at 48-h intervals after surgery. During the recovery period, as well as throughout experiments, the loss of the function of the large intestine was compensated by supplying the pigs with large amounts of water, minerals and vitamins (Yin et al. 1993). Drinking water was continuously available and special attention was paid to the composition of the mineral and vitamin concentrate included in the diets (table 1).

The experiments were conducted from 1990 to 1995 and involved the use of eight batches of four pigs. Groups were made as similar as possible on the basis of age and live weight of the pigs. Each batch of oilseed meal was fed to the four pigs of only one group and at one period; both group and period were selected at random. However, some differences in age or weight appeared between groups and some samples of oilseed meal, within the same group, were evaluated in heavier pigs than others. Therefore, it was assumed that age, live weight or time effects did not influence observed digestibility values (Laplace et al. 1994; Bodin et al. 1998).

Pigs were allowed a four-week recovery period following surgery, and then entered a twelve-week period during which digestibility measurements were made. Pigs were fed twice daily (8 a.m. and 4 p.m.) a diet in meal form mixed with water at the time of feeding (2 volumes water/1 volume meal). The feeding scale was set at 90 g meal per kg metabolic weight ($LW^{0.75}$), i.e, considering the digestible energy content of the diets (table 1), 2.8, 2.0 to 2.8 and 3.1 times maintenance requirements for pigs fed RSM, SFM and SBM diets, respectively. Every week, the feed allowance was adjusted for individual pigs, based on LW and expected LW gains at four-week intervals.

Experimental diets were fed for seven days (Green et al. 1987): an adaptation period of five days followed by a two-day collection period. This combination of adaptation and collection periods was among those which allowed the most accurate measurement of N excretion by pigs fitted with an end-to-end ileo-rectal anastomosis (Mariscal-Landin et al. 1995). During the latter period, ileal digesta was collected quantitatively in a plastic reservoir, twice a day, just after feeding, and immediately stored at 4°C. As the major part of ileal digesta was excreted just before collection, no additional precaution was taken to prevent bacterial growth before refrigeration. At the end of the collection period, ileal digesta was pooled per animal, homogenised, and two samples were taken: one was oven-dried (80°C for 72 hours) for dry matter determination, and the other one was freeze-dried prior to analysis.

B.2 - Feedstuffs and Experimental Diets

Seventeen samples of oilseed meal were selected that were representative of samples used in European feeds: four of rapeseed meal (RSM1 to RSM4), four of sunflower meal (SFM1 to SFM4) and nine of soybean meal (SBM1 to SBM9). All oilseed meals were solvent-extracted. Additional information about geographical origin or technological characteristics of the samples is given in table 1. The feedstuffs were ground in a hammer mill fitted with a 2-mm screen, then mixed with a maize starch and sugar mixture (1/1) and a mineral and vitamin concentrate (5.5%). Prior to diet mixing, the N content of ingredients was analysed and diet composition was adjusted so that its N content was around 3 % dry matter (DM) (table 1). Because the end-to-end ileo-rectal anastomosis allowed the total collection of ileal digesta, no digestibility marker was added to the diet.

B.3 - Chemical Analyses

All chemical analyses were performed in duplicate. Each sample of oilseed meal, each diet and each pooled sample of ileal digesta was analysed for N and AA content. The N content was measured by the Kjeldahl method (International Standards of Organisation 1997), using an automated Kjel-foss apparatus (Foss-Electric, Denmark). The AA content was determined by chromatography in a ion exchange column (Beckman 6300, Beckman, USA) after a 23-hour hydrolysis in HCl 6 N at 110°C (Association Française de Normalisation 1993). The sulphur AA content was determined using performic oxidation hydrolysis (Association Française de Normalisation 1993). As described by Landry and Delhaye (1992), tryptophan was determined by HPLC followed by fluorometric detection (Kontron Instrument, France), following hydrolysis in an alkaline solution (baryum hydroxide) at 125°C for 16 hours.

The dry matter (DM) content of each sample of oilseed meal was determined by drying to a constant weight at 103°C. For determining ash content, samples were kept at 550°C for 8 hours. Neutral Detergent Fibre (NDF), Acid Detergent Fibre (ADF) and Acid Detergent Lignin (ADL) contents were sequentially analysed following the van Soest et al. (1991) method, using a Fibertec system (Tecator, Sweden). Crude fibre (CF) was determined as the residue after hydrolysis in hydrochloric acid and potassium hydroxide (Weende method) (International Standards of Organisation 1981) using the Fibertec system. Fat content was measured, without hydrolysis prior to analysis (Official Journal of the European Communities 1984), by means of a Soxtherm apparatus (Gerhardt, Germany). In SBM, trypsin inhibitor activity (T.I.A.) was determined spectrophotometrically (λ=0.410 μm) (UVIKON 930, Kontron Instrument, France) by measuring the decrease in activity of bovine trypsin, using benzoyl-DL-arginine-p-nitroanalide hydrochloride as synthetic substrate (American Oil Chemist's Society 1983).

B.4 - Calculations

B.4.1 - Estimates of Endogenous Gut AA Losses

First, the proportions of endogenous and dietary proteins in ileal digesta were estimated according to Duvaux et al. (1990) who developed a mathematical model to calculate the proportions of different 'reference' proteins in a mixture, from their AA profiles. This method combines a multiple regression analysis, without intercept, and the calculation of the deviation between the actual and expected AA

composition of a mixture of proteins by means of a chi-square (χ^2) value. It was previously used to calculate the proportions of endogenous and exogenous proteins in ileal digesta from pigs fed different feedstuffs (Schulze et al. 1993; Le Guen et al. 1995).

The following equations was used to estimate the contributions (x) of a number (m) of 'reference' proteins to digesta protein collected from the distal ileum, based on contents of various (n) AA in 'reference' and digesta protein:

$AA_{1,digesta} = x_1\ AA_{1,P1}+\ldots+\ldots+x_k\ AA_{1,Pk}+\ldots\ldots+x_m\ AA_{1,Pm}$

.

.

$AA_{i,digesta} = x_1\ AA_{i,P1}+\ldots+x_k\ AA_{i,Pk}+\ldots\ldots+x_m\ AA_{i,Pm}$

.

.

$AA_{n,digesta} = x_1\ AA_{n,P1}+\ldots+x_k\ AA_{n,Pk}+\ldots\ldots+x_m\ AA_{n,Pm}$

i = 1 to 16: number of assayed amino acid

$AA_{i,digesta}$: content (%) of AA i in digesta protein

P_k: 'reference' protein source k

$AA_{i,Pk}$: content (%) of AA i in 'reference' protein k

x_1, x_k …. x_m: regression coefficients of the actual amino acid profile when regressing digesta protein on the 'reference' proteins $P_1 \ldots P_m$.

As specified by Duvaux et al. (1990) and in order to assign the same weight to each AA, the square-root of the AA proportions in digesta protein were considered as dependent variables; the ratios of AA proportions in 'reference' proteins to this square-root were considered as independent variables. The χ^2 value, representing the extent of the agreement between the actual and the expected amino acid composition of digesta protein was calculated as follows:

$$\chi^2 = n \times \sum_{i=1}^{n} \frac{(AAi,\ digesta\ - AAi,\ mixture)^2}{(AAi,\ digesta\ + AAi,\ mixture)/2}$$

$AA_{i,digesta}$: content (%) of AA i in actual digesta protein

$AA_{i,mixture}$: content (%) of AA i in the mixture of 'reference' proteins

The AA compositions of the various proteins were expressed as percentages of the sum of the analysed AA contents. For the calculations, tryptophan, not determined in residual protein of NDF, and proline, not determined in our AA analyses, were not considered. In the analyses three 'reference' proteins were used: endogenous protein, whole dietary protein and residual protein associated with NDF. The AA composition of endogenous protein is given in table 4. It is derived from the determination of basal endogenous AA losses previously performed in our laboratory (unpublished results), using twenty pigs prepared and managed according to the above described procedure and fed a protein-free diet made of maize starch (58%), sucrose (30%), wood cellulose (3.5%) and the mineral and vitamin mixture used for experimental diets (5.5%). The AA composition of the residual protein associated with NDF, previously measured by Lechevestrier (1996) in RSM and in SBM, is given in table 4. Similar values are not available for SFM, so that the partition of digesta was not performed for this oilseed meal.

Total endogenous AA losses (Tendo; g kg^{-1} DMI) were calculated as follows :

$Tendo = x_{Endo} * Texcreted$

Tendo: estimates of total endogenous AA losses (g kg^{-1} DMI)

x_{Endo} :estimated proportion of endogenous protein in the digesta protein

Texcreted = total AA excretion with digesta (g kg^{-1} DMI)

Specific endogenous AA losses (g kg^{-1} DMI), were obtained by correcting total endogenous AA losses (g kg^{-1} DMI) for basal endogenous AA losses (g kg^{-1} DMI). Considering the inclusion level of the feedstuff in the experimental diet, specific endogenous AA losses (Sendo; g kg^{-1} DM feedstuff) were then calculated:

Sendo = (Tendo-Bendo)*100/%feedstuff

Sendo: estimates of specific endogenous AA losses (g kg^{-1} DM feedstuff)

Tendo: estimates of total endogenous AA losses

Bendo: basal endogenous AA losses (g kg^{-1} DMI)

%feedstuff: inclusion level of the feedstuff in the experimental diet

B.4.2 - Digestibility Calculation

Apparent ileal digestibility (AD) was calculated from dietary intake and excretion in ileal digesta of N and AA. True ileal digestibility (TD) was calculated from AD by correcting for basal endogenous AA losses (Bendo) (Low 1982). The assumption was made that basal endogenous losses were directly related to DM intake (DMI):

TD = AD + Bendo (g kg^{-1} DMI)*100/AA ingested (g kg^{-1} DMI)

This correction of AD to TD was aimed at reducing the effects of N and AA content of the experimental diets on digestibility values (Fan et al. 1994; Sève and Henry 1996). In particular, no attempt was made to evaluate the possible influence of the nature of the feedstuff on total endogenous AA losses. Real ileal digestibility (RD) was calculated by correcting AD for total endogenous AA losses (Tendo; g kg^{-1} DMI):

RD = AD + Tendo (g kg^{-1} DMI)*100/AA ingested (g kg^{-1} DMI)

B.5 - Data Analyses

The effect of the sample (S) on total endogenous AA losses (g kg^{-1} DMI), specific endogenous AA losses (g kg^{-1} DM feedstuff), as well as on TD and RD of N and AA was first analysed within each type of oilseed meal. An overall analysis of variance was performed to evaluate the effect of the type of oilseed meal relative to the residual variation between samples. The overall model included the following items: the type of oilseed meal (T) and the sample nested within type S(T). The effect of type (T) was tested against sample nested within type (S(T)). A Tukey's Studentized Range test (SAS 1990) was used for comparison of means.

For SBM, attempts to predict TD and RD of N and AA, as well as total endogenous AA losses (g kg^{-1} DMI) were made based on regressions of the digestibility values against the CF, NDF, ADF, ADL and T.I.A. contents of the diets (g kg^{-1} DM), calculated from the chemical characteristics of the feedstuffs and diet composition. For prediction of TD and RD of N and AA, the ratios of these chemical characteristics to AA contents in the diets, independent of the inclusion level of the feedstuff in the experimental diet (Sève et al. 1994), also were used as independent variables.

Analyses of variance were performed using the GLM procedure of the SAS statistical software (SAS 1990). Regression analyses were performed by means of the STEPWISE procedure of the MINITAB statistical software (MINITAB 1996).

C - RESULTS

Because of abnormally low feed intake, some replicates were eliminated so that, for four samples of oilseed meal, TD was calculated with 3 replicates only. Except for SBM3 and SBM6, which were tested on quite heavy pigs (on

average, 98 and 81 kg, respectively), the average LW of pigs fed the three types of oilseed meal were in the same range (40 to 65 kg).

C.1 - Analytical Characteristics

The composition of each sample of oilseed meal is given in table 1, for N and non-protein components, and in table 2 for AA. Fibre content (NDF, ADF, CF) was lower in SBM than in RSM and in SFM. In contrast, SBM displayed higher N content than RSM and SFM. Fibre and N contents were correlated *(P<0.05)* in SBM and in SFM (r=-0.85 and -0.98 between CF and N, respectively), but not in RSM (*P>0.20*). CF was correlated (*P<0.01*) with NDF and ADF in SFM and SBM, but not in RSM (*P>0.40*). Moreover, in RSM, ADF concentration exceeded by 1.6 to 2.0 times CF concentration.

In the three types of oilseed meals, glutamic acid was the main contributor to protein content, followed by aspartic acid, arginine and leucine. In contrast, tryptophan, cystine, methionine and histidine contents were low across oilseed meals. Compared to SBM, the RSM protein contained larger amounts of methionine and cystine. SFM protein contained less lysine than SBM protein, but higher amounts of methionine.

C.2 - Estimates of Endogenous Gut AA Losses

For 10 out of 12 RSM and SBM samples, the inclusion of both endogenous protein and protein associated with NDF in the regression model resulted in the best fit (*P<0.05*), i.e. lowest χ^2. For two RSM samples, the significance of including protein associated with NDF in the model was 0.06 and 0.14, respectively. The calculated proportions of endogenous AA in digesta AA were of similar magnitude for the two types of oilseed meals, ranging between 32 and 65% for RSM and between 35 and 51% for SBM. The contribution of AA associated with NDF to digesta AA ranged between 32 and 66% for RSM and between 47 and 63% for SBM.

For both types of oilseed meals, samples differed (*P<0.001*) for total as well as for specific endogenous losses. Higher (*P<0.001*) amounts of total endogenous AA were excreted by pigs fed RSM diets compared with those fed SBM diets. Estimates of specific endogenous AA losses were two times higher for RSM than for SBM (27.57 vs 12.38 g kg^{-1} DM feedstuff, *P<0.01*) (table 4).

CF, NDF and ADF contents of diet were relevant predictors (*P<0.05*) of total endogenous N and AA losses in SBM. 50.2% of the variability was explained by NDF content and 62.6% by CF content. With ADF, the residual standard deviation (0.98 g kg^{-1} DMI) was minimised and the coefficient of determination reached 75.0% (figure 1), based on following predicting equation:

Total endogenous AA losses (g kg^{-1} DMI) = 5.07±0.83 + 0.136±0.030 ADF (g kg^{-1} DM)

C.3 - True and Real Ileal Digestibility of N and AA

For RSM differences (*P<0.01*) between samples were detected for both TD and RD of all AA. For SBM, samples differed for TD of all AA *(P<0.01)* and for RD of all AA *(P<0.05)*, except methionine, tryptophan and valine. For SFM, samples differed (*P<0.05*) from each other except for TD of cystine, histidine and tyrosine (tables 3 and 4).

Clear effects of type of oilseed meal, tested against the effect of sample nested within type, were observed (*P*<0.001) for TD of all AA. For N and most AA, SBM displayed higher TD values than SFM and SFM than RSM. However, TD of histidine were similar in RSM and in SFM, as

well as TD of methionine in SFM and in SBM. On average, TD of the sum of all AA were 5.5 percentage units lower for SFM than SBM and 6.2 percentage units lower for RSM than SFM.

RD of all AA, except (*P>0.10*) alanine, arginine, glutamic acid, glycine and phenylalanine, were higher (*P<0.05*) in SBM than in RSM. On average, RD of the sum of all AA were 5.2 percentage units lower for RSM than SBM.

For SBM, the ratios of CF, NDF or ADF to the AA contents were relevant predictors for TD of N and all AA (*P<0.05*) and for RD of N and all AA (*P<0.05*), except methionine, tryptophan, alanine, leucine and valine. In contrast, inclusion of T.I.A. in the model did not improve accuracy of predicting TD (*P>0.10*). For TD, the ratio involving ADF minimised the residual standard deviation and maximised the coefficient of determination, whereas the ratio involving NDF was the most appropriate for the prediction of RD (table 5). For TD, the coefficient of determination ranged between 60.6 to 86.1% and the residual standard deviation ranged between 0.7 and 1.7 units. For RD, up to 62% of the total variability was explained by the variation in the ratio of NDF to AA concentrations; however for threonine, phenylalanine and tyrosine, the coefficients of determination did not reach 40%.

D - DISCUSSION

D.1 - Analytical Characteristics

The chemical characteristics of the samples were within the range of values reported in the French IO7 data base (Association Française de Zootechnie 1998). However, because of the number of samples we tested, they did not account for entire range of values encountered in these oilseed meals. The lack of consistency between CF and ADF contents in RSM also was observed in this data base. This may originate from the heating applied to rape seed during oil extraction, or at the end of the process, to remove residual hexane (Gueguen and Lemarié 1996). Indeed, according to van Soest and Mason (1991), the Maillard reactions, which occur during heating, induce a high N content in crude lignin and ADF. This would be consistent with the higher proportion of total N bound to the total dietary fibre in RSM compared with SBM observed by Bell et al. (1998) (27 and 19%, respectively). The correlation between N and the fibre criteria in SFM and SBM, was undoubtedly the result of the diluting effect of hulls on N concentration. The absence of a relationship between CF and N in RSM, reported by Bell (1984), may be due to the low number of samples tested in the current study.

All the SFM and SBM batches matched the AA contents reported in the European Amino Acid Table, while the RSM samples, particularly RSM4, displayed slightly lower AA contents (World Poultry Science Association 1992). The differences in AA profile between the types of oilseed meal, originated from the variable contents of the two main protein fractions, albumins (functional proteins) and globulins (storage protein), in these products. In particular, the high proportion of albumins in rape seed, compared to sunflower and soya, explained the high methionine and cystine contents in RSM compared to SFM and SBM (Gueguen and Lemarié 1996).

D.2 - True Digestibility Values and Estimates of Endogenous AA Losses

The manner in which the digestibility measurements were obtained raises the question of the impact of the characteristics of the groups of growing pigs on differences in digestibility values between samples. The

growing pigs were housed in the same environment and fed at constant levels of DMI. In such conditions, there is no indication in the literature of factors causing significant variation in ileal digestibility of the AA other than those associated with changes in dietary components. Moreover, all the samples, except SBM3 and SBM6, were tested over a relatively narrow LW range. Long term effects of end-to-end ileo-rectal anastomosis, such as histological changes in the ileum and increased concentration of volatile fatty acids in the digesta were reported (Fuller 1991). However, these changes may affect ileal digestibility of organic matter and particularly that of fibre, but not that of N and AA (Fuller 1991; Laplace et al. 1994; Bodin et al. 1998).

Lower TD values for RSM than for SBM were in accordance with the results of many authors (Sauer et al. 1982; Green and Kiener 1989; de Lange et al. 1990; Lechevestrier 1996; National Research Council 1998). However, the extent of the difference between the two types of oilseed meal was, in some instance, lower than in the current study (Sauer et al. 1982; Green and Kiener 1989). Green and Kiener (1989) and Mariscal-Landin (1992) reported differences in TD values between RSM and SFM of a similar magnitude than in the current study. In agreement with the current results, Knabe et al. (1989) and Hennig et al. (1993) found N and AA in SFM overall less digestible than in SBM. However, according to Green and Kiener (1989), for most AA, the TD in SFM were at least as high compared to SBM. It is noteworthy that, in most previously mentioned studies (Sauer et al. 1982; Green and Kiener 1989; Knabe et al. 1989; Hennig et al. 1993; de Lange et al. 1990), comparisons between types of oilseed meals are based on one sample only. The variability between samples possibly encountered within a type, may partly explain contradictory results across studies.

Estimates of endogenous AA losses relied on the assumption that the AA composition of the endogenous gut protein was constant, regardless of the dietary characteristics. However, dietary factors may cause changes not only in the amount of endogenous losses, but also in the AA composition of the endogenous protein. In particular, differences in available N for bacterial growth may cause changes in the AA pattern in digesta (Bartelt et al. 1997; Caine et al. 1999) and therefore, bias the estimates of endogenous losses. However, Schulze et al. (1993) showed, with skimmilk powder, soybean meal, soy isolate and fish meal based diets, that, using the AA pattern of the dietary protein and of the endogenous protein of pigs fed a protein-free diet as reference proteins, that the regression method proposed by Duvaux et al. (1990) provided estimates comparable to measured values obtained by ^{15}N dilution using an intravenous ^{15}N-L-Leucine infusion.

The average basal endogenous AA losses we calculated from 20 individual measurements were almost half of the mean values proposed by Wünsche et al. (1987) in a literature review (2.22 ± 0.88 g N kg^{-1}DMI). However, they remained within the range of values summarized by these author. Average estimates of total endogenous AA losses (g kg^{-1} DMI) exceeded the basal endogenous losses by 4.5 times, for RSM diets and 2.2 times, for SBM diets (table 4). This confirms that specific endogenous AA are lost by pigs when they are offered protein containing diets (Sève and Henry 1996; Nyachoti et al. 1997b). As a consequence, RD values exceeded TD values by 9.2 and 2.7 percentage units for RSM and SBM, respectively. However,

like TD, RD in SBM remained overall higher than in RSM.

Expressed as g 100 g^{-1} N ingested (NI), our estimates of endogenous N losses ranged from 10.1 to 20.3 for RSM and from 6.1 to 11.0 for SBM. For RSM, the current estimates were within the wide range of values (10.9 to 25.1 g 100 g^{-1} NI) reported in the literature and that have been obtained using a variety of methods: N isotope dilution method, with piglets (Grala et al. 1997; Grala et al. 1998), or growing pigs (de Lange et al. 1990) and the homoarginine method with growing pigs (Nyachoti et al. 1997a). For SBM, our estimates were in agreement with the 10.1 and 11.5 g 100 g^{-1} NI reported by Grala et al. (1998 and 1999), using the N isotope dilution method. The possible overestimation of endogenous N losses when measured by the N isotope dilution technique (Lien et al. 1997) may explain the higher values reported by de Lange et al. (1990) and Makkink et al. (1997) (13.7 and 14.4 g 100 g^{-1} NI, respectively). They may also originate from properties of the samples used in each experiment.

D.3 - Dietary Factors Affecting Ileal Digestibility and Endogenous Gut Losses of N and AA

The partitioning of AA in digesta protein suggests that protein present in the NDF fraction of RSM and of SBM is not digested and absorbed prior to the end of the ileum. According to Bjergegaard et al. (1991) and Grala et al. (1998), the low RD of AA in canola and rapeseed meal were partly caused by the large proportion of N enclosed in the fibre fraction, where enzymes have restricted access. For SBM, the predicting equations we obtained indicated that the fibrous fraction was the main factor affecting RD of N and AA. The amount of N present in the NDF fraction and the NDF concentration being probably correlated (Lechevestrier 1996), this relationship would be in accordance with the presence of N bound to NDF in ileal digesta.

In our study, dietary fibre was the main factor affecting endogenous N losses for SBM. Moreover, our predicting equation was meaningful since the value of the intercept fitted quite well with our basal endogenous losses value (table 4). An increase in endogenous N losses with dietary fibre (NDF) concentration was previously observed with pigs fed semi-synthetic diets (Mariscal-Landin et al. 1995; Schulze et al. 1995). It was also observed with rapeseed cake-based diets (Grala et al. 1998). Many mechanisms may be involved: the direct stimulation of digestive secretion, the enhanced sloughing of epithelial cells, a modification of the rate of re-absorption or the alteration of the rate of passage through the intestinal tract (Nyachoti et al. 1997b). These phenomena may also explain the high average specific endogenous gut AA losses calculated for RSM compared with SBM.

For calculating true digestibility, indigestible AA are corrected for basal endogenous losses only. Thus, factors affecting either the feed specific endogenous losses, or the undigested dietary fraction, or both, may influence the ranking of types of oilseed meals or of samples within a type with regards to TD of AA. The higher proportions of N and AA bound to fibre in RSM compared to SBM and to SFM (Bell 1984; Lechevestrier 1996) may contribute to the ranking of oilseed meals for TD of AA. For SBM, the decrease in TD with the increase in the ratio of dietary ADF to AA concentrations reflected the deleterious effect of fibre on both endogenous N losses and the undigested dietary fraction.

However, the analytical characterisation we performed did not explain the variability in TD of AA between the samples of RSM or SFM. Moreover, for SBM, the equations we obtained for RD prediction exhibited high residual standard deviations and low coefficients of determination. Although the low number of samples we tested may explain this lack of consistency, this suggests that other dietary factors than dietary fibre caused variability between samples.

According to de Lange et al. (1998), the partial removal of the fibre fraction by mechanical dehulling had only a minor effect of AD of AA in canola meal. Genetics, crop management and processing conditions may have contributed in the differences between samples. In particular, heat treatments may improve RD of AA by limiting the deleterious effect of fibre on the release of intra cellular contents into the luminal tract. They may also reduce endogenous AA losses by inactivating products from the degradation of glucosinolates (Grala et al. 1998). In contrast, Grala et al. (1994) and Lechevestrier (1996) suggested that, overheating, inappropriate moisture or duration of heating, may impair RD of AA, especially lysine, because of the formation of Maillard reaction products. Because we did not know with sufficient accuracy the exact origin of oilmeals, the extent to which these parameter explained the variability observed among samples could not be established in the current study.

Our predictions confirmed that T.I.A., in commercial samples of SBM, was of little influence on ileal digestibility of N and AA, if any (Chang et al. 1987; Huisman and Jansman 1991). However, other antinutritional factors may explain the variability between SBM samples in our study. In particular, although the capacity of soy lectins to induce agglutination of the intestinal brush border membrane is mostly destroyed during processing, some commercial SBM samples could retain sufficient levels of functional lectins to have a detrimental effect on AA ileal digestibility (Maenz et al. 1999).

Finally, the TD of N and AA decreased from SBM to SFM and to RSM. The high fibre concentration in RSM and SFM, as well as the large amount of N bound to fibre in RSM probably partly explained this ranking. For SBM, the cellulose/lignin fraction seemed to be the main factor causing variation in TD of AA. Differences in TD of AA between RSM and SBM were related to different recoveries of both endogenous and dietary AA. For both types of oilseed meals, at least part of the AA encapsulated in fibre probably represented the dietary undigested fraction. For SBM, endogenous AA losses increased with the dietary ADF concentration. However, further studies on the effect of other factors such as processing conditions are required to better understand the variability between samples within oilseed meals.

Acknowledgements

Some of the results were obtained with the financial support of the Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (ACTA programme) and the European Commission (CAMAR CT 91-0112). The work was performed in collaboration with MENGVOEDER UT-DELFIA (NL), SUOMEN REHU (SF) and SANOFI SANTE NUTRITION ANIMALE (F). The authors wish to thank the staffs of the ITCF pig unit research, laboratory and methods department, as well as the EUROLYSINE laboratory for their technical

assistance. They gratefully acknowledge R. PINOT (SANOFI SANTE NUTRITION ANIMALE, F), D. SAUVANT (Institut National Agronomique de Paris-Grignon, F) and G. RYCHEN (Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, Nancy, F) for their advise in preparing this paper.

E - REFERENCES

American Oil Chemist's Society. 1983. Official Method Ba12-75. Sampling and analysis of oilseeds by-products. Trypsin inhibitor activity. AOCS, Champaign, IL, USA.

Association Française de Normalisation. 1993. Aliments des animaux, dosage des acides aminés. NF V 18-113, October 1993, AFNOR, Paris-La Défense, France.

Association Française de Zootechnie. 1998. IO7, Banque de Données de l'Alimentation Animale. Version 4.0, November 1998, AFZ, Paris, France.

Bartelt, J., Drochner, W. and Sommer, A. 1997. Recovery of different nitrogen fractions at the distal ileum in ^{15}N-labelled pigs fed grain diets with or without fish meal and graded levels of fibre. Pages 617-620 *in* J.P. Laplace, C. Février, A. Barbeau (Editors), Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, May 26-28, Saint Malo, France.

Bell, J.M. 1984. Nutrients and toxicants in rapeseed meal: A review. J. Anim. Sci. **58**: 996-1010.

Bell, J.M., Tyler, R.T. and Rakow, G. 1998. Nutritional composition and digestibility by 80-kg to 100-kg pigs of prepress solvent-extracted meals from low glucosinolates Brassica juncea, B. napus and B. rapa seed and of solvent-extracted soybean meal. Can. J. Anim. Sci. **78:** 199-203.

Bjergegaard, C., Eggum, O., Jensen, S.K. and Sorensen, H. 1991. Dietary fibres in oilseed rape: Physiological and antinutritional effects in rats of isolated IDF and SDF added to a standard diet. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. **66:** 69-79.

Bodin, J.C., McMillan, E., Maillard, R., van Kempen, T. and Williams, P.E.V. 1998. Effect of time post-surgery on the measurement of ileal digestibility in ileal rectal anastomosed pigs. Page 168 *in* Proc. of the British Society of Animal Science, March 1998, Scarborough, UK.

Caine, W.R., Tamminga, S., Verstegen, M.W.A., Sauer, W.C. and Schulze, H. 1997. Endogenous recoveries and true ileal digestibilities of amino acids in newly weaned pigs fed diets with protease-treated soybean meal. J. Anim. Sci. **75**: 2970-2979.

Caine, W.R., Tamminga, S., Sauer, W.C., Verstegen, M.W.A. and Schulze, H. 1999. Bacterial contributions to total and endogenous recoveries of nitrogen and amino acids in ileal digesta of newly weaned piglets fed protease-treated soybean meal. Livest. Prod. Sci. **57:** 147-157.

Canadian Council on Animal Care. 1993. Guide to the care and use of experimental animals. 2nd ed., Vol. 1, CCAC, Ottawa, ON.

Centraal Veevoederbureau. 1998. Veevoedertabel 1998. CVB, Lelystad, The Netherlands.

Chang, C.J., Tanksley, T.D. Jr, Knabe, D.A. and Zebrowska, T. 1987. Effect of different heat treatments during processing on nutrient digestibility of soybean meal in growing swine. J. Anim. Sci. **65:** 1273-1282.

de Lange, C.F.M., Souffrant, W.B. and Sauer, W.C. 1990. Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determined with the ^{15}N-isotope dilution technique. J. Anim. Sci. **68:** 409-418.

de Lange, C.F.M., Gabert, V.M., Gillis, D. and Patience, J.F. 1998. Digestible energy and apparent ileal amino acid digestibilities in regular or partial mechanically dehulled canola

meal samples fed to growing pigs. Can. J. Anim. Sci. **78:** 641-648.

Duvaux, C., Guilloteau, P., Toullec, R. and Sissons, J.W. 1990. A new method for estimating the proportions of different proteins in a mixture using amino acid profiles: Application to undigested proteins in the preruminant calf. Ann. Zootech. **39:** 9-18.

Fan, M.Z., Sauer, W.C., Hardin, R.T. and Lien, K.A. 1994. Determination of apparent ileal digestibility in pigs: Effect of dietary amino acid level. J. Anim. Sci. **72:** 2851-2859.

Fuller M.F. 1991. Methodologies for the measurement of digestion. Pages 273-288 *in* M.W.A. Verstegen, J. Huisman, L.A. den Hartog (Editors), Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n°54, Pudoc, April 24-26, Wageningen, The Netherlands.

Furuya, S. and Kaji, Y. 1991. Additivity of the apparent and true ileal digestible amino acid supply in barley, maize, wheat or soya-bean meal based diets for growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol. **32:** 321-331.

Grala, W., Buraczewska, L., Gdala, J. and Pastuszewska, B. 1994. Effect of the thermal processing on the protein value of double-low rapeseed products. 1. Effect of toasting temperature on protein value of rapeseed oil meal for pigs. J. Anim. Feed Sci. **3:** 33-42.

Grala, W., Verstegen, M.W.A., van Leeuwen, P., Huisman, J., Jansman, A.J.M. and Tamminga, S. 1997. Nitrogen balance of pigs as affected by feedstuffs causing different endogenous nitrogen flow at the terminal ileum. Livest. Prod. Sci. **48:** 143-155.

Grala, W., Verstegen, M.W.A., Jansman, A.J.M., Huisman, J. and van Leeuwen, P. 1998. Ileal apparent protein and amino acid digestibilities and endogenous nitrogen losses in pigs fed soybean and rapeseed products. J. Anim. Sci. **76:** 557-568.

Grala, W., Verstegen, M.W.A., Jansman, A.J.M., Huisman, J., and van Leeuwen, P. 1999. Apparent protein digestibility and recovery of endogenous nitrogen at the terminal ileum of pigs fed diets containing various soybean products, pea or rapeseed hulls. Anim. Feed Sci. Technol. **80:** 231-245.

Green, S. and Kiener, T. 1989. Digestibilities of nitrogen and amino acids in soya-bean, sunflower, meat and rapeseed meals measured with pigs and poultry. Anim. Prod. **48:** 157-179.

Green, S., Bertrand, S.L., Duron, M.J.C. and Maillard, R.A. 1987. Digestibility of amino acids in maize, wheat and barley meal measured in pigs with ileo-rectal anastomosis and isolation of the large intestine. J. Sci. Food Agric. **41:** 29-43.

Gueguen, J. and Lemarié, J. 1996. Propriétés biochimiques et physicochimiques des protéines végétales. 1. Composition, structure et propriétés physicochimiques des protéines de légumineuses et d'oléagineux. Pages 80-119 *in* B. Godon (Editor), Lavoisier (Publisher), Protéines végétales, 2ème édition, Paris, France.

Hennig, U., Wünsche, J., Souffrant, W.B., Peters, G. and Kreienbring, F. 1993. Untersuchungen zur präzäkalen Verdaulichkeit von Mais, Sonnenblumen- Baumwoll-, Lein- und Sojaextraktionsschrot bei Schweinen mit Ileorektal-anastomosen. Arch. Anim. Nutr., Berlin **43:** 215-226.

Huisman, J. and Jansman, A.J.M. 1991. Dietary effects and some analytical aspects of antinutritional factors in peas (Pisum sativum), common beans (Phaseolus vulgaris) and soybeans (Glycine max L.) in monogastric farm animals. A literature review. Nutr. Abstr. Rev. series B **61:** 901-921.

Institut National de la Recherche Agronomique. 1989. L'alimentation des animaux monogastriques: Porc, lapin, volailles. 2nd ed., INRA, Paris, France.

International Standards of Organisation. 1981. Agricultural food products - Determination of crude fibre - General method. ISO 5498, ISO, Genève, Switzerland.

International Standards of Organisation. 1997. Animal feeding stuffs - Determination of nitrogen for the calculation of crude protein content - Kjeldahl methods. ISO 5983, ISO, Genève, Switzerland.

Jondreville, C., van den Broecke, J., Gâtel, F. and Van Cauwenberghe, S. 1995. Ileal digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs. Eurolysine-ITCF, Paris, France, 53 pp.

Knabe, D.A., Larue, D.C., Gregg, E.J., Martinez, G.M. and Tanksley, T.D. Jr 1989. Apparent digestibility of nitrogen and amino acids in protein feedstuffs by growing pigs. J. Anim. Sci. **67:** 441-458.

Landry, J. and Delhaye, S. 1992. Simplified procedure for determination of tryptophan of foods and feedstuffs from barytic hydrolysis. J. Agric. Food Chem. **40:** 776-779.

Laplace, J. P., Darcy-Vrillon, B., Perez, J. M., Henry, Y., Giger, S. and Sauvant, D. 1989. Associative effect of feeding different protein-free diets between two fibre sources on ileal and overall digestibilities of amino acids, energy and cell-wall components in growing pigs. Br. J. Nutr. **61:** 75-87.

Laplace, J.P., Souffrant, W.B., Hennig, U., Chabeauti, E. and Février, C. 1994. Measurement of precaecal dietary protein and plant cell wall digestion in pigs: Comparison of four surgical procedures for ileorectal anastomosis. Livest. Prod. Sci. **40:** 313-328.

Lechevestrier, Y. 1996. Digestion et absorption des acides aminés dans l'intestin grêle du porc. Effets de la composition des protéines alimentaires, de leurs propriétés physiques et des facteurs antinutritionnels. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon, France, 161 pp.

Le Guen, M.P., Huisman, J. and Verstegen, M.W.A. 1995. Partition of the amino acids in ileal digesta from piglets fed pea protein diets. Livest. Prod. Sci. **44:** 169-178.

Lien, K.A., Sauer, W.C., Mosenthin, R., Souffrant, W. and Dugan, M.E.R. 1997. Evaluation of the ^{15}N-isotope dilution technique for determining the recovery of endogenous protein in ileal digestion of pigs: Effect of dilution in the precursor pool for endogenous nitrogen secretion. J. Anim. Sci. **75:**148-158.

Low, A.G. 1982. Digestibility and availability of amino acids from feedstuffs for pigs: A review. Livest. Prod. Sci. **9:** 511-520.

Maenz, D.D., Irish, G.G. and Classen, H.L. 1999. Carbohydrate-binding and agglutinating lectins in raw and processed soybean meals. Anim. Feed. Sci. Technol. **76:** 335-343.

Makkink, C.A., Heinz, T., Souffrant, W.B. and Verstegen, M.W.A. 1997. Endogenous N losses at the terminal ileum of young piglets fed diets based on four different protein sources. J. Anim. Feed Sci. **6:** 219-234.

Mariscal-Landin, G. 1992. Facteurs de variation de l'utilisation digestive des acides aminés chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, France, 134 pp.

Mariscal-Landin, G., Sève, B., Colleaux, Y. and Lebreton, Y. 1995. Endogenous amino nitrogen collected from pigs with end-to-end ileorectal anastomosis is affected by the method of estimation and altered by dietary fiber. J. Nutr. **125:** 136-146.

Marty, B.J. and Chavez, E.R. 1995. Ileal digestibilities and urinary losses of amino acids in pigs fed heat processed soybean products. Livest. Prod. Sci. **43**: 37-48.

Marty, B.J., Chavez, E.R. and de Lange, C.F.M. 1994. Recovery of amino acids at the distal ileum for determining apparent and true ileal amino acid digestibilities in growing pigs fed various heat-processed full fat soybean products. J. Anim. Sci. **72**: 2029-2037.

MINITAB, 1996. MINITAB reference manual (release 11), MINITAB Inc., USA.

National Research Council. 1998. Nutrient requirements of swine. 10th rev. Ed. National Academy of Sciences-NRC, Washington, DC.

Nyachoti, C.M., de Lange, C.F.M. and Schulze, H. 1997a. Estimating endogenous amino acid flows at the terminal ileum and true ileal amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs

using the homoarginine method. J. Anim. Sci. **75**: 3206-3213.

Nyachoti, C.M., de Lange, C.F.M., McBride, B.W. and Schulze, H. 1997b. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: A review. Can. J. Anim. Sci. **77:** 149-163.

Official Journal of the European Communities. 1984. Dosages des matières grasses brutes. EEC 2e-71/393 mod.84/4, OJEC, 18 January 1984.

Picard, M., Bertrand, S., Genin, F. and Maillard, R. 1984. Digestibilité des acides aminés: Intérêt de la technique du shunt iléo-rectal chez le porc. Journées Rech. Porcine en France **16:** 355-360.

Rademacher, M., Sauer, W.C. and Jansman, A.J.M. 1999. Standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. The new system. Degussa-Hüls AG, Frankfurt/Main, Germany, 20 pp.

Rhône Poulenc Animal Nutrition. 1993. Rhodimet™ Nutrition Guide. Formulation des aliments en acides aminés digestibles. 2nd ed., RPAN, Antony, France, 54 pp.

SAS. 1990. SAS/STAT®, User's Guide (4th ed., vol 2), SAS Inst. Inc., Cary, NC.

Sauer, W.C., Cichon, R. and Misir, R. 1982. Amino acid availability and protein quality of canola and rapeseed meal for pigs and rats. J. Anim. Sci. **54:** 292-301.

Schulze, H., Makkink, C.A., Le Guen, M.P. and Verstegen, M.W.A. 1993. Endogenous N losses as measured by two independent methods. Pages 62-69 *in* M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen, J.H.M. Metz (Editors), Proc. 1st Intern. Symp. on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences, 8-11 June, Wageningen, The Netherlands.

Schulze, H., van Leeuven, P., Verstegen, M.W.A. and van den Berg, J.W.O. 1995. Dietary level and source of neutral detergent fiber and ileal endogenous nitrogen flow in pigs. J. Anim. Sci. **73:** 441-448.

Sève, B. and Henry, Y. 1996. Protein utilisation in non-ruminants. Pages 59-82 *in* A.F. Nunes, A.V. Portugal, J.P. Costa, J.R. Ribeiro (Editors), Proc. 7th Symp. on Protein Metabolism and Nutrition, EAAP Publication n° 81, 24-27 May 1995, Vale de Santarém, Portugal.

Sève, B., Mariscal-Landin, G., Colleaux, G. and Lebreton, Y. 1994. Ileal endogenous amino acid and amino sugar flows in pigs fed graded levels of protein or fibre. Pages 35-38 *in* W.B. Souffrant, H. Hagemeister (Editors), Proc. 6th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, Volume I, EAAP Publication n°80, October 4-6, Bad Doberan, Germany.

van Soest, P.J. and Mason, V.C. 1991. The influence of the Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds. Anim. Feed Sci. Technol. **32:** 45-53.

van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. **74:** 3583-3597.

World Poultry Science Association. 1992. European Amino Acid Table. 1st Edition. W.M.M.A. Janssen, F.B.M. Ingelaat, S. Shaper, J. McNab (Editors), WPSA Publication, Beekbergen, The Netherlands, 123 pp.

Wünsche, J., Herrmann, U., Meinl, M., Hennig, U., Kreienbring, F. and Zwierz P. 1987. Einfluss exogener Faktoren auf die präzäkale Nährstoff- und Aminosaürenresorption, ermittelt an Schweinen mit ileo-rektal Anastomosen. 1. Mitteilung: Einfluss des Zerkleinerungsgrades von Getreide. Arch. Anim. Nutr., Berlin **37:** 745-764.

Yin, Y.L., Huang, R.L. and Zhong, H.Y. 1993. Comparison of ileo-rectal anastomosis and conventional method for the measurements of ileal digestibility of protein sources and mixed diets in pigs. Anim. Feed Sci. Technol. **42:** 297-308.

Tableau 45 : Feedstuffs and diets characteristics

Table 1

	Rapeseed meal					Sunflower meal					Soybean meal									
	RSM1[y]	**RSM2[y]**	**RSM3[yw]**	**RSM4[x]**	**mean**	**SFM1**	**SFM2**	**SFM3**	**SFM4**	**mean**	**SBM1**	**SBM2**	**SBM3**	**SBM4**	**SBM5**	**SBM6**	**SBM7**	**SBM8**	**SBM9**	**mean**
Origin	Europe	Europe	Europe	China		Europe	Europe	Argentina	Europe		Europe	Europe	Europe	Europe	Brazil	Europe	Europe	USA	Europe	
Feedstuff characteristics (g 100 g^{-1} DM)																				
N	6.23	6.31	5.89	6.60	6.26	4.73	5.79	6.03	6.25	5.70	7.65	7.42	8.02	8.02	8.31	8.23	8.50	8.49	8.65	8.14
Fat	3.79	2.29	7.96	2.22	4.07	2.84	1.22	2.35	1.15	1.89	1.50	2.52	2.24	1.50	2.29	2.21	2.95	2.76	1.82	2.20
CF	10.80	11.78	13.87	12.78	12.31	35.80	27.18	25.03	19.83	26.96	6.65	8.02	7.03	8.31	5.26	4.73	3.80	3.57	3.56	5.66
Ash	7.93	8.35	7.53	10.22	8.51	6.82	8.18	7.37	7.66	7.51	6.47	7.67	7.27	7.62	7.67	7.28	8.27	8.52	8.12	7.65
NDF	30.00	31.60	30.97	38.33	32.73	49.55	40.11	38.77	32.37	40.20	14.97	15.27	14.91	15.13	12.59	10.80	8.65	7.68	11.80	12.42
ADF	20.23	20.50	22.37	25.44	22.13	38.52	29.06	29.05	21.17	29.45	7.97	9.43	7.65	10.97	6.98	4.77	4.64	3.91	4.83	6.79
ADL	8.62	8.50	10.97	11.44	9.88	10.91	7.62	7.37	6.32	8.06	0.96	0.84	0.38	0.58	0.57	0.39	0.74	0.56	0.55	0.62
T.I.A.[z]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	3.3	3.9	4.8	2.7	3.8	3.0	3.0	3.4
Diet composition (g 100 g^{-1} DM)																				
Feedstuff	49.8	52.3	51.8	48.4		63.7	50.2	48.2	47.2		37.6	41.1	38.1	43.0	31.8	36.2	33.0	36.5	32.7	
Maize starch/sucrose[v]	44.7	42.2	42.7	46.1		30.8	44.3	46.3	47.3		56.9	53.4	56.4	51.5	62.7	58.3	61.5	58.0	61.8	
Mineral and vitamin[u]	5.5	5.5	5.5	5.5		5.5	5.5	5.5	5.5		5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
Diet estimated characteristics																				
N (g 100 g^{-1} DM)	3.15	3.34	3.09	3.24		3.04	2.95	2.95	3.00		2.93	3.10	3.11	3.50	2.70	3.04	2.86	3.15	2.89	
DE (MJ 100 g^{-1} DM)[t]	1.46	1.45	1.45	1.46		1.02	1.28	1.33	1.42		1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	

[z] expressed as Trypsin Inhibitor Units (T.I.U. mg^{-1} DM)
[y] 00 variety
[x] 0 variety
[w] partially solvent-extracted
[v] Maize starch and sucrose mixture (1/1)
[u] The mineral and vitamin concentrate provided per kg DM feed: 303 mg $MgCl_2$.6H2O; 303 mg KCl; 8437 mg NaCl; 22000 mg $NaHCO_3$; 9548 mg $CaHPO_4$; 10849 mg $CaCO_3$; 512 mg; $FeSO_4.7H_2O$; 303 mg $ZnSO_4.1H_2O$; 80 mg $CuSO_4.5H_2O$; 121 mg $MnSO_4.1H_2O$; 5 mg $CoCO_3$; 2 mg $Ca(IO_3)_2$; 27500 IU vit. A ; 2200 IU vit. D3; 4070 IU vit. E; 21 mg vit. K3; 6 mg vit. B1; 14 mg vit. B2; 13 mg vit. B6; 51 mg vit. PP; 80 mg vit. C; 1 mg folic acid; 70 mg vit. B12 ; 0.03 mg biotin; 30 mg vit. B3; 804 mg choline ; 50 mg carbadox
[t] Digestible energy calculated taking 1.71, 1.68, 1.40, 1.96-0.033 CF (% DM) and 1.68 MJ DE 100 g^{-1} DM for maize starch, sucrose, RSM, SFM and SBM, respectively (Institut National de la Recherche Agronomique 1989)

Tableau 46 : Amino acid content of the feedstuffs (g 16 g^{-1} N)

Table 2

	Rapeseed meal					Sunflower meal					Soybean meal									
	RSM1	RSM2	RSM3	RSM4	mean	SFM1	SFM2	SFM3	SFM4	mean	SBM1	SBM2	SBM3	SBM4	SBM5	SBM6	SBM7	SBM8	SBM9	mean
ΣAA[z]	30.96	29.54	29.97	30.65	30.28	28.00	28.91	30.04	31.25	29.55	42.22	39.42	44.81	47.02	49.24	44.75	46.70	46.96	47.36	45.39
Lysine	2.10	2.05	1.95	1.61	1.93	1.15	1.16	1.24	1.29	1.21	2.73	2.69	2.96	3.11	3.22	3.09	3.19	3.18	3.14	3.03
Threonine	1.60	1.54	1.58	1.57	1.57	1.24	1.30	1.28	1.29	1.28	1.67	1.72	1.95	2.01	2.13	1.90	2.02	1.96	1.95	1.92
Methionine	0.86	0.79	0.81	0.83	0.82	0.80	0.83	0.83	0.82	0.82	0.62	0.60	0.90	0.75	0.78	0.67	0.69	0.80	0.76	0.73
Cystine	0.86	0.79	0.66	0.91	0.80	0.53	0.51	0.53	0.59	0.54	0.62	0.60	0.70	0.70	0.78	0.72	0.74	0.74	0.70	0.70
Tryptophan	0.47	0.47	0.48	0.50	0.48	0.38	0.47	0.49	0.47	0.45	0.62	0.60	0.70	0.60	0.68	0.67	0.69	0.69	0.70	0.66
Alanine	1.60	1.62	1.55	1.61	1.59	1.39	1.48	1.39	1.56	1.46	2.10	1.81	2.06	2.26	2.23	2.01	2.07	2.12	2.11	2.09
Arginine	2.30	2.01	2.17	2.19	2.17	2.39	2.86	3.09	2.62	2.74	3.35	3.39	3.56	3.76	3.95	3.70	4.14	3.98	4.05	3.76
Aspartic acid	2.53	2.60	2.61	2.39	2.54	2.84	1.95	2.98	3.36	2.78	5.36	4.68	5.21	5.71	5.97	5.45	5.68	5.68	5.68	5.49
Glutamic acid	6.00	5.72	5.67	6.52	5.98	6.21	6.59	6.63	7.15	6.64	8.32	7.33	8.57	8.97	9.56	8.64	8.93	9.02	9.24	8.73
Glycine	1.83	1.74	1.80	1.82	1.80	1.86	1.99	1.96	1.99	1.95	1.86	1.76	2.01	2.11	2.13	2.01	2.07	2.07	2.05	2.01
Histidine	0.97	0.95	0.92	0.99	0.96	0.77	0.87	0.98	0.90	0.88	1.20	1.25	1.25	1.35	1.40	1.39	1.49	1.49	1.35	1.35
Isoleucine	1.52	1.38	1.51	1.53	1.48	1.39	1.48	1.36	1.37	1.40	2.01	1.95	2.31	2.46	2.54	2.26	2.28	2.33	2.43	2.29
Leucine	2.45	2.33	2.39	2.48	2.41	1.98	2.10	2.07	2.23	2.09	3.44	3.15	3.56	3.76	3.95	3.29	3.72	3.71	3.78	3.60
Phenylalanine	1.48	1.38	1.47	1.44	1.44	1.42	1.56	1.43	1.56	1.49	2.25	2.18	2.51	2.61	2.75	2.31	2.34	2.49	2.65	2.45
Serine	1.64	1.58	1.58	1.61	1.60	1.45	1.52	1.55	1.60	1.53	2.30	2.27	2.61	2.66	2.86	2.67	2.71	2.60	2.70	2.60
Tyrosine	0.93	0.87	0.96	0.83	0.90	0.59	0.58	0.64	0.78	0.65	1.63	1.48	1.65	1.75	1.77	1.75	1.65	1.75	1.68	1.68
Valine	1.83	1.74	1.84	1.86	1.82	1.60	1.66	1.58	1.68	1.63	2.15	1.95	2.31	2.46	2.54	2.21	2.28	2.33	2.38	2.29

[z] sum of all amino acids

Tableau 47 : True ileal digestibility (%) of N and AA in RSM, SFM and SBM

Table 3

	Rapeseed meal				Sunflower meal				Soybean meal				All types	
	mean	se[x]	S[z]	rsd[y]	mean	se[x]	S[z]	rsd[y]	mean	se[x]	S[z]	rsd[y]	T[z]	rsd[y]
N	73.6a	1.28	***	1.2	80.6b	0.55	*	1.1	88.4c	0.82	***	1.5	***	1.3
ΣAA[w]	78.7a	1.11	***	1.0	84.9b	1.09	**	1.4	90.4c	0.68	***	1.4	***	1.3
Lysine	70.7a	3.30	***	1.5	80.0b	1.35	**	1.6	90.5c	0.76	**	2.0	***	1.8
Threonine	73.2a	1.17	***	1.0	81.8b	1.02	**	1.4	86.8c	0.80	***	1.6	***	1.4
Methionine	86.0a	0.90	**	1.2	91.9b	1.20	***	1.1	93.0b	0.47	**	1.5	***	1.3
Cystine	77.7a	1.22	**	1.3	81.3b	0.31	NS	2.7	87.4c	0.99	***	2.1	***	2.1
Tryptophan	74.8a	2.57	***	2.1	84.5b	0.93	**	1.2	89.4c	0.69	**	1.9	***	1.9
Alanine	78.2a	1.39	***	1.1	81.3b	1.60	**	1.9	86.8c	0.85	***	1.9	***	1.8
Arginine	83.9a	3.66	***	2.2	92.3b	0.91	**	1.1	94.6c	0.61	***	1.1	**	1.5
Aspartic acid	74.1a	1.67	***	1.7	84.2b	1.20	**	1.4	90.5c	0.63	***	1.2	***	1.4
Glutamic acid	84.5a	1.12	***	0.9	89.0b	1.15	**	1.6	91.2c	0.90	***	2.0	**	1.7
Glycine	74.8a	1.45	**	1.7	71.8b	1.01	*	1.8	86.3c	1.44	***	2.6	***	2.3
Histidine	82.5a	1.18	***	1.0	82.4a	0.81	NS	2.8	91.2c	0.64	**	1.7	***	1.9
Isoleucine	76.3a	1.33	***	1.3	84.2b	1.46	**	2.0	90.6c	0.57	***	1.2	***	1.4
Leucine	79.2a	1.09	***	1.2	84.5b	1.41	**	1.7	89.8c	0.62	***	1.3	***	1.4
Phenylalanine	81.4a	1.88	**	2.1	86.8b	1.75	**	2.2	90.9c	0.64	***	1.3	***	1.7
Serine	75.9a	1.05	***	1.0	81.1b	0.99	**	1.4	90.2c	0.68	***	1.0	***	1.1
Tyrosine	77.2a	1.55	**	2.4	87.6b	1.13	NS	2.7	91.7c	0.61	**	1.7	***	2.1
Valine	74.6a	1.28	***	1.2	82.7b	1.59	**	2.0	88.6c	0.61	***	1.5	***	1.6

[z] S: effect of the sample within each type of oilseed meal; T: effect of the type of oilseed meal; NS: *P>0.10*; *: *P<0.05*; **: *P<0.01*; ***: *P<0.001*; Values with different letter in the same row differ significantly at *P<0.05*
[y] residual standard deviation
[x] standard error
[w] sum of all amino acids

Tableau 48 : Estimates[z] of total and specific endogenous gut AA losses and of real ileal digestibility of N and AA in RSM and in SBM

Table 4

	Rapeseed meal (n=4)				Soybean meal (n=9)					
	mean	**se[w]**	**S[v]**	**rsd[w]**	**mean**	**se[w]**	**S[v]**	**rsd[w]**	**T[v]**	**rsd[w]**
Total endogenous gut AA losses (g kg^{-1} DMI)[y]										
	17.83	2.469	***	1.18	8.55	0.610	***	2.41	***	1.66
Specific endogenous gut AA losses (g kg^{-1} DM feedstuff)[x]										
	27.57	5.124	***	3.29	12.38	1.453	***	4.79	**	3.81
Real digestibility (%)										
N	86.2	2.13	**	2.5	92.8	0.48	*	1.6	**	1.9
ΣAA[u]	87.9	2.00	***	1.8	93.1	0.48	**	1.5	**	1.6
Lysine	80.8	1.35	**	1.8	93.2	0.61	*	2.2	***	2.1
Threonine	84.4	1.96	***	2.0	90.9	0.51	**	1.4	***	1.6
Methionine	93.3	1.55	**	1.9	97.0	0.30	NS	1.7	**	1.8
Cystine	86.9	1.83	**	2.4	92.0	0.76	**	2.0	*	2.2
Tryptophan	87.4	2.71	**	3.1	93.7	0.40	NS	1.8	**	2.3
Alanine	90.7	2.29	***	2.0	91.2	0.53	0.06	2.1	NS	2.1
Arginine	90.9	4.79	***	2.5	96.3	0.53	***	1.3	NS	1.8
Aspartic acid	85.4	2.57	***	2.2	92.9	0.49	**	1.3	**	1.6
Glutamic acid	90.3	1.47	***	1.3	93.0	0.75	**	2.0	NS	1.8
Glycine	90.3	2.43	***	1.8	92.5	0.89	**	2.5	NS	2.3
Histidine	88.7	1.74	***	1.3	93.3	0.49	*	1.6	**	1.6
Isoleucine	85.3	2.19	***	1.9	93.2	0.35	0.08	1.4	***	1.6
Leucine	87.8	2.08	***	1.9	92.4	0.44	**	1.4	**	1.6
Phenylalanine	89.7	2.99	***	3.0	92.9	0.49	**	1.4	NS	2.0
Serine	86.5	1.77	**	2.2	93.2	0.44	***	1.1	***	1.5
Tyrosine	87.0	2.56	**	3.8	94.2	0.57	*	1.9	**	2.6
Valine	84.7	2.21	***	2.3	92.2	0.42	NS	1.8	***	1.9

[z] AA profile of the 'reference' proteins

basal endogenous losses (g kg^{-1} DMI) N:1.145; ΣAA: 3.969 - (% ΣAA) Lys: 6.7; Thr: 6.5; Met: 2.2; Cys: 2.7; Ala: 7.5; Arg: 5.2; Asp: 10.6; Glu: 13.2; Gly: 10.4; His: 2.3; Ile: 5.0; Leu: 7.6; Phe: 4.2; Ser: 6.4; Tyr: 2.8; Val: 6.7

protein of NDF in RSM (% ΣAA) Lys: 6.6; Thr: 6.5; Met: 2.2; Cys: 1.8; Ala: 5.7; Arg: 6.1; Asp: 9.0; Glu: 15.8; Gly: 6.5; His: 2.7; Ile: 5.9; Leu: 8.8; Phe: 4.9; Ser: 6.0; Tyr: 3.6; Val: 8.1 (from Lechevestrier 1996)

protein of NDF in SBM (% ΣAA) Lys: 7.2; Thr: 4.8; Met: 1.7; Cys: 1.1; Ala: 5.5; Arg: 6.2; Asp: 10.9; Glu: 15.9; Gly: 6.9; His: 3.0; Ile: 5.6; Leu: 9.1; Phe: 5.0; Ser: 6.0; Tyr: 4.2; Val: 6.8 (from Lechevestrier 1996)

[y] calculated, for each animal and each diet, as the estimated proportion of endogenous AA in the digesta protein multiplied by the total amount of AA excreted (g kg^{-1} DMI)

[x] calculated as the difference between total and basal endogenous gut AA losses, divided by the inclusion level of the feedstuff in the experimental diet

[w] se: standard error – rsd: residual standard deviation

[u] S: effect of the sample within each type of oilseed meal; T: effect of the type of oilseed meal; NS: *P>0.10; *: P<0.05; **: P<0.01; ***: P<0.001*

[u] sum of all amino acids

Tableau 49 : True digestibility of N and AA (%) in SBM according to the dietary ratio of ADF to AA concentrations (g g^{-1}) and real digestibility of N and AA (%) in SBM according to the dietary ratio of NDF to AA concentrations (g g^{-1})

Table 5

	True digestibility							Real digestibility						
	Intercept		ADF/AA		P-value[x]	rsd[y]	R^2 [y]	Intercept		NDF/AA		P-value [x]	rsd [y]	R^2 [y]
N	94.1	±1.1	-6.70	±1.24	***	1.1	80.7	96.6	±1.5	-2.47	±0.96	*	1.1	48.4
ΣAA[z]	95.0	±0.9	-30.6	±5.4	***	0.9	82.1	97.1	±1.2	-14.2	±4.2	*	0.9	61.8
Lysine	95.6	±1.1	-2.26	±0.46	***	1.1	77.7	98.1	±1.6	-1.19	±0.38	*	1.3	59
Threonine	91.7	±1.6	-1.38	±0.42	*	1.6	60.6	94.4	±1.8	-0.55	±0.26	0.08	1.3	38.5
Methionine	95.9	±0.6	-0.285	±0.059	***	0.7	77.2	-	-	-	-	-	-	-
Cystine	93.4	±1.6	-0.607	±0.148	**	1.7	70.7	97.0	±2.3	-0.274	±0.122	0.06	1.9	41.8
Tryptophan	93.6	±1.1	-0.364	±0.091	**	1.2	69.5	-	-	-	-	-	-	-
Alanine	92.4	±1.4	-1.71	±0.39	**	1.4	73.1	-	-	-	-	-	-	-
Arginine	98.1	±1.1	-1.93	±0.56	*	1.2	63.2	100	±1.4	-1.13	±0.42	*	1.2	50.8
Aspartic acid	94.4	±1.1	-3.06	±0.81	**	1.2	67.1	96.8	±1.3	-1.69	±0.55	*	1.0	57.2
Glutamic acid	96.7	±1.5	-6.98	±1.80	**	1.6	68.3	98.2	±2.3	-3.57	±1.54	0.05	1.8	43.3
Glycine	96.7	±1.7	-3.07	±0.47	***	1.7	86.1	100	±2.4	-1.22	±0.38	*	1.8	59.2
Histidine	95.3	±0.8	-0.787	±0.153	***	0.9	79.1	96.8	±1.1	-0.379	±0.113	*	1.0	61.8
Isoleucine	94.3	±0.7	-1.24	±0.23	***	0.8	80.6	95.9	±0.9	-0.481	±0.153	*	0.7	58.6
Leucine	93.6	±1.2	-2.00	±0.57	*	1.2	63.4	-	-	-	-	-	-	-
Phenylalanine	94.8	±1.3	-1.40	±0.42	*	1.3	61.0	96.4	±1.6	-0.672	±0.315	0.07	1.2	39.4
Serine	94.6	±1.0	-1.65	±0.36	***	1.1	75.0	96.8	±1.2	-0.748	±0.232	*	0.9	59.8
Tyrosine	95.6	±0.9	-0.811	±0.187	*	0.9	78.7	97.9	±1.9	-0.418	±0.202	0.08	1.4	38.1
Valine	92.8	±0.8	-1.37	±0.24	***	0.8	82.7	-	-	-	-	-	-	-

[z] sum of all amino acids

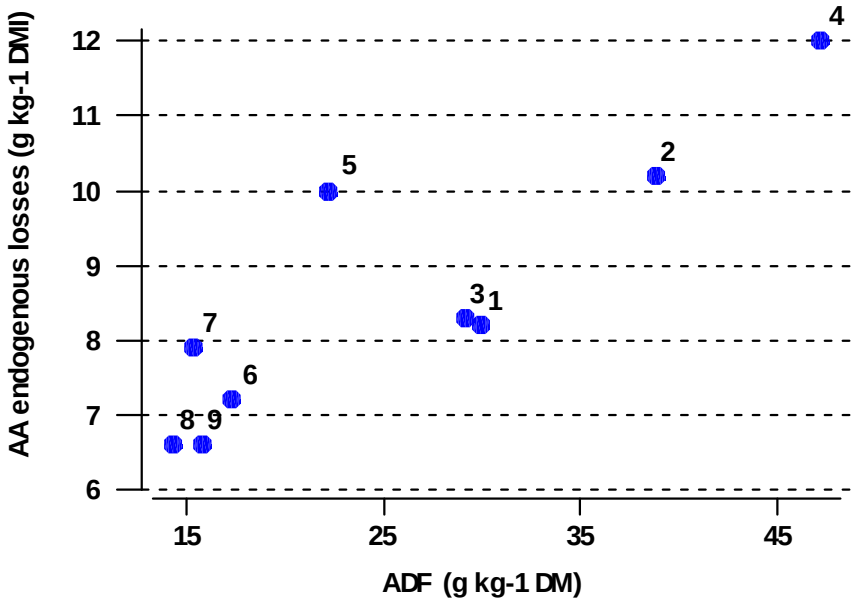
[y] rsd: residual standard deviation - R^2: coefficient of determination

[x] *: *P<0.05*; **: *P<0.01*; ***: *P<0.001*

Figure 19. Total endogenous gut AA losses (g kg^{-1} DMI) according to the ADF concentration in the SBM diets (g kg^{-1} DM)

Figure 1

Total endogenous gut AA losses = 5.07±0.83 + 0.136±0.030 ADF (*P<0.001*, rsd^z = 0.98, R^{2z} = 75.0)



[z] rsd: residual standard deviation - R^2: coefficient of determination

Partie III. Discussion générale

I - Méthodologie

L'objectif initial des expérimentations que nous avons menées était la détermination de la digestibilité iléale vraie de la protéine et des acides aminés, la hiérarchisation de diverses matières premières sur ce critère, et l'estimation de sa variabilité entre lots intra matière première. A la lumière des résultats scientifiques acquis au cours des dix dernières années, nous avons repris le traitement et l'interprétation de ces données, notamment en estimant l'excrétion endogène spécifique d'azote et la digestibilité réelle des acides aminés par type de matière première. La pertinence du dispositif expérimental par rapport aux objectifs que nous nous étions fixés, la méthode que nous avons mise en œuvre pour déterminer l'excrétion endogène basale d'azote, ainsi que les méthodes de calcul utilisées pour l'évaluation de l'excrétion endogène spécifique d'azote doivent être discutés.

A - LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL : COMPARAISON DES LOTS DE MATIERE PREMIERE ENTRE EUX

Comme nous l'avons souligné à plusieurs reprises ***(Partie II.III - à Partie II.VI -***), notre dispositif expérimental ne nous permettait pas de comparer rigoureusement les lots d'un même type de matière première entre eux ni, a fortiori, les types de matières premières entre eux. En effet, chaque lot de matière première était testé sur un groupe d'animaux et un seul et à un stade, caractérisé par le poids vif de l'animal, et un seul. Les effets possibles du groupe d'animaux et du stade de l'animal étaient donc confondus avec ceux du lot de matière première. Par conséquent, les analyses que nous avons effectuées reposaient sur l'hypothèse que la digestibilité iléale vraie des acides aminés était indépendante du stade de l'animal et du groupe d'animaux. Cette hypothèse doit être discutée.

A.1 - Effets possibles du stade

Laplace et al. (1994), ont montré que la digestibilité iléale apparente des acides aminés d'un aliment à base de blé et de son de blé (ADF=42.2 g/kg MS), mesurée sur des porcs anastomosés, ne varie pas entre 30 et 90 kg de poids vif. De même, excepté pour la thréonine, Bodin et al. (1998) n'observent aucune variation de la digestibilité iléale des acides aminés d'un lot de maïs jusqu'à 8 mois après la préparation de porcs charcutiers en anastomose iléo-rectale termino-terminale. Les analyses de covariance que nous avons menées, intra matière première, en prenant le poids vif comme covariable, semblent montrer que le stade a une influence négligeable sur la détermination de la digestibilité iléale vraie des acides aminés. Toutefois, dans notre étude, la digestibilité iléale vraie de la plupart des acides aminés du maïs, testé sur une large gamme de poids (39 à 85 kg), tendait à augmenter avec le poids des animaux. Cette augmentation, de faible amplitude, était estimée à moins d'un point de digestibilité par pas de 10 kg de poids vif.

Nos résultats indiquent que l'indigestible alimentaire (ou la digestibilité réelle) est probablement indépendant du poids de l'animal. En revanche, l'usage d'une valeur moyenne d'excrétion endogène basale d'azote (g/kg MSI), mesurée sur des animaux dont le poids moyen atteignait 70 kg, a peut-être induit un biais conduisant à l'augmentation de la digestibilité iléale vraie avec le poids de l'animal. En effet, l'augmentation de l'excrétion endogène basale d'azote (g/kg MSI) avec le poids de l'animal a été mise en évidence à plusieurs reprises (Hodgkinson et al., 1997 ; Stein, 1998 ; Hess et Sève, 1999a). Selon Stein (1998), elle n'augmenterait que chez les animaux de poids inférieur à 60 kg pour se stabiliser ensuite. Il est donc possible que, pour les matières premières assez pauvres en protéines et testées sur des

animaux jeunes, comme l'a été le triticale (35 à 55 kg), la digestibilité iléale vraie moyenne soit sous-estimée, en raison d'une sous-estimation de l'excrétion endogène basale effective.

A l'instar de ce qui a été mesuré sur l'excrétion endogène basale, on peut suspecter un effet du stade sur l'excrétion endogène spécifique d'azote. Dans notre étude, cet effet n'était significatif que dans le cas du blé et du triticale ($P<0.05$) et les possibles conséquences sur la digestibilité iléale vraie étaient négligeables ***(Partie II.III - , p 111)***. La valeur élevée de l'excrétion azotée endogène d'acides aminés calculée pour le triticale, testé sur des animaux légers, comparé au blé (10.7 *vs* 9.1 g/kg MSI) tendrait à corroborer cette hypothèse ***(Tableau 36, p 127).***

En résumé, l'effet du stade (ou poids de l'animal) sur la digestibilité iléale vraie est vraisemblablement de faible amplitude. Toutefois, on peut suspecter une diminution de l'excrétion endogène basale et de l'excrétion endogène spécifique d'azote (g/kg MSI) avec le poids de l'animal. Probablement, les gammes de poids restreintes utilisées pour tester la plupart des matières premières ne nous ont pas permis de tester valablement cet effet du stade, s'il existe. Par ailleurs, ni nos données, ni les résultats de la littérature ne permettent d'exclure une interaction entre le poids de l'animal et le type d'aliment qui lui est proposé.

A.2 - Effets possibles du groupe d'animaux

Lors de la constitution des groupes d'animaux, des précautions ont été prises afin que les différences dites entre "lot-groupe" représentent plus une variation attribuable au lot de matière première qu'au groupe de porcs. En particulier, le poids et l'âge des animaux au moment de la préparation chirurgicale et au moment des mesures étaient aussi comparables que possible. De plus, la méthodologie de mesure de la digestibilité, ainsi que les méthodes d'analyse et les laboratoires qui ont effectué les dosages, sont restés inchangés durant toute l'expérimentation. Toutefois, d'autres facteurs caractéristiques des groupes comme le type génétique, des effets année ou saison, pouvaient influencer les valeurs de digestibilité, ce que notre dispositif expérimental ne nous permettait pas de contrôler.

A titre indicatif, nous avons testé l'effet du groupe d'animaux, à partir des données obtenues sur 8 lots de triticale, d'une part, et 5 lots de seigle, d'autre part. Ces lots ont en effet été distribués aux animaux de deux groupes différents (groupes O et M pour le triticale et M et N pour le seigle) ***(Tableau 7, p 67).*** Intra-céréale, l'effet du groupe d'animaux, testé par rapport à l'erreur résiduelle entre lots intra-groupe, n'était significatif ni sur la digestibilité vraie des acides aminés, ni sur leur digestibilité réelle, ni sur l'excrétion azotée endogène spécifique d'azote. Ce pourrait être le signe d'une reproductibilité correcte de nos mesures de digestibilité.

D'autres éléments nous permettent de conclure à une reproductibilité correcte de nos mesures de digestibilité. Les écarts types résiduels que nous obtenons sont très comparables à ceux qu'obtiennent d'autres auteurs, avec des dispositifs dans lesquels aucun effet du groupe d'animaux ne peut être soupçonné et où l'effet du stade est contrôlé ***(Tableau 50, p 186)***. En admettant que les lots à tester ont été affectés au hasard à chacune des combinaisons groupe de porcs-stade, de sorte que les effets éventuels de ces deux paramètres se retrouvaient dans l'erreur entre lots, il apparaît que dans la plupart des cas, la façon dont nous avons travaillé n'a pas conduit à une détérioration notable de la précision de la mesure.

A.3 - Un dispositif expérimental plus rigoureux

En dépit des effets probablement limités du stade et du groupe sur les valeurs de digestibilité iléale vraie, une planification plus rigoureuse des expérimentations peut être proposée.

Dans notre système, 12 lots de matière première peuvent être testés par groupe d'animaux. Une option est de privilégier la comparaison des types de matières premières entre eux. Les groupes auraient pu être traités comme des blocs dans lesquels le lot de matière première aurait été l'unité expérimentale et le type de matière première (blé, orge, tourteau de soja…) le traitement. Ce dispositif permet de tester l'effet du groupe d'animaux contre l'erreur résiduelle entre type de matière première intra-groupe. En outre, la période expérimentale aurait pu être divisée en 4 stades, correspondant à 3 semaines d'expérimentation. En prenant la précaution de répartir la distribution de chacun des lots de matière première sur chacun de ces stades, l'effet du stade aurait pu être testé, ainsi que son interaction avec le groupe. Pour tester les 77 lots de matières premières que comporte ce document, un tel dispositif aurait nécessité la préparation de 7 groupes d'animaux et, dans le cas de la capacité de la station de Vendôme, la planification des travaux sur 2 ans. En outre, ce dispositif est peu compatible avec la mise à jour d'une base de données par l'addition de nouvelles matières premières.

Une autre option est de privilégier l'évaluation de la variabilité intra-matière première. Il s'agit alors de tester un nombre réduit de matières premières par groupe d'animaux, tous les lots d'une même matière première étant testés dans le même groupe. L'effet du groupe d'animaux est alors testé contre l'erreur résiduelle entre lots intra-groupe. Cette seconde option est sans doute plus réaliste en termes de planification, même si elle ne permet pas de comparer rigoureusement les types de matières premières entre eux.

Une autre façon de comparer les groupes, non exclusive des autres options, était l'introduction d'un régime témoin qui aurait été distribué, à une ou deux reprises, à l'ensemble des animaux. L'orge ou le triticale, ne posant que très rarement des problèmes d'ingestion, pouvaient constituer des témoins de choix. L'utilisation d'un témoin comporte toutefois un inconvénient majeur. Elle permet, certes, de cerner d'éventuels effets du groupe d'animaux, mais, dans l'hypothèse de l'existence d'une interaction entre le groupe d'animaux et le type d'aliment, elle ne permet pas de corriger les valeurs de digestibilité pour un effet du groupe. Rien ne prouve en effet que l'amplitude de variation de la digestibilité constatée sur la matière première témoin puisse être transposée à d'autres matières premières.

B - DETERMINATION DE L'EXCRETION AZOTEE ENDOGENE BASALE

Le calcul de la digestibilité iléale vraie repose sur la détermination précise de l'excrétion endogène basale de l'ensemble des acides aminés. L'usage d'un aliment protéiprive, pour lequel nous avons opté, est la technique la plus couramment utilisée. De plus nous avons pris soin de choisir, comme source de fibre, de la cellulose purifiée, a priori sans effet stimulant sur l'excrétion endogène d'azote (De Lange et al., 1989a ; Furuya et Kaji, 1992 ; Leterme et al., 1992), de façon à estimer, autant que possible, l'excrétion endogène basale, à niveau de fibre ingéré nul (Sève et Henry, 1996). Par ailleurs, l'excrétion endogène basale d'azote n'a pas été mesurée pour l'ensemble des animaux : une valeur moyenne, obtenue à partir de 20 observations, exprimée en g/kg MSI, a été utilisée pour corriger l'ensemble des données de digestibilité apparente.

Dans notre étude, conformément aux observations de Boisen et Moughan (1996), puis Hess et Sève (1999a), le principal facteur de variation de l'excrétion azotée endogène basale était l'animal. Compte tenu de cette variabilité animale, certains auteurs (Green et al., 1987 ; Hess et Sève, 1999a) préconisent la mesure de l'excrétion azotée endogène basale sur chaque animal et l'application un facteur de correction de la digestibilité iléale apparente individuel plutôt que moyen. Dans notre étude, la prise en compte des pertes endogènes basales individuelles, plutôt que la moyenne de nos 20 observations, ne modifiait pas les valeurs de digestibilité iléale vraie des acides aminés et n'améliorait en rien le pouvoir discriminant de la mesure (***Partie II.II - C.3 - , p 93).*** Même si, individuellement, les différences de digestibilité pouvaient atteindre 6.5 points (glycine, maïs), en moyenne, elles étaient négligeables.

De plus, bien que faible par rapport aux données de la littérature (1.14 vs 2.34 g/kg MSI relevé par Bastianelli (1996)), cette valeur moyenne semble stable au cours du temps. Nous l'avons en effet confirmée, dans une étude ultérieure, sur 4 animaux pesant entre 42 et 48 kg et recevant quotidiennement 90 g d'aliment /kg $PV^{0.75}$ (1.145±0.223 *vs* 1.154±0.281 g N/kg MSI) (Sève et al., 2000).

La proportionnalité stricte entre la quantité de matière sèche ingérée et l'excrétion endogène basale d'acides aminés semble être due aux conditions expérimentales dans lesquelles nous nous sommes placés, en particulier, concernant le poids des animaux. Nous confirmons donc la stabilité de l'excrétion endogène basale lorsque le poids de l'animal excède 60 kg (Stein, 1998) ainsi que l'absence d'effet du niveau alimentaire sur l'excrétion azotée endogène basale, chez des animaux de plus de 60 kg (Hess et Sève, 1999a).

A cet égard, notre valeur moyenne pouvait donc sous-estimer l'excrétion azotée endogène basale chez des animaux de poids inférieur à 60 kg, comme le suggèrent les résultats obtenus par Hodgkinson et al. (1997), Stein (1998) et Hess et Sève (1999a). Rien, dans nos données, ne permet donc de prouver que le système ne serait pas amélioré par la prise en compte d'une excrétion azotée endogène basale corrigée du poids de l'animal, au moins pour les animaux les plus jeunes.

C - DETERMINATION DES FRACTIONS CONSTITUTIVES DES DIGESTA PAR REGRESSION LINEAIRE MUTIPLE

L'ensemble de notre étude concernant l'excrétion endogène spécifique d'acides aminés et le calcul de la digestibilité iléale réelle repose sur la méthode de régression multiple proposée par Duvaux et al. (1990). Comme l'a discuté Lechevestrier (1996), les résultats obtenus sont très dépendants des protéines de référence utilisées et de leur niveau de corrélation entre elles. Dans cette optique, nous discuterons la pertinence des résultats obtenus et nous donnerons des éléments explicatifs à l'absence de résultat pour certaines matières premières (co-produits de meunerie, corn gluten feed).

C.1 - Choix des protéines de référence

Nous avons choisi de travailler selon un modèle simplifié en n'introduisant, comme variable explicatives, que la protéine endogène, qui représente à la fois les protéines microbiennes et les protéines endogènes strictes, et différentes fractions de la protéine alimentaire. Notre souci était en effet d'aboutir à un modèle simple, bâti sur le même concept que les digestibilités vraie et réelle, qui font intervenir la partition des digesta entre acides aminés d'origines alimentaire et endogène.

C.1.1 - Protéine endogène

La détermination de l'excrétion azotée endogène totale, telle que nous l'avons pratiquée suppose que le profil de la protéine endogène soit constant, indépendamment des caractéristiques de l'animal et de celles de l'aliment. En d'autres termes, nous supposons que le profil de la protéine endogène totale ou spécifique est équivalent au profil moyen de nos 20 observations d'excrétion endogène basale.

L'étude que nous avons menée à partir d'un aliment protéiprive montre, à l'instar des résultats de Hess et Sève (1999a), que le principal facteur de variation du profil de la protéine endogène basale est l'animal. Nous avons également noté une modification du profil de la protéine endogène basale avec le vieillissement de l'animal, avec, notamment, un enrichissement probable de la protéine endogène en mucus et/ou en protéine bactérienne ***(Partie II.II - C.2 - , p 90).*** Cet effet pourrait avoir pour origine une adaptation de l'intestin grêle à la suppression du gros intestin, conduisant à une prolifération bactérienne dans cette région du tube digestif, et/ou à des modifications histologiques de l'iléon, avec une augmentation du nombre de cellules en gobelet, sécrétrices de mucus (Fuller, 1991). Comme indiqué ***Partie II.II - C.2.1 - (p 91)***, cette modification du profil de la protéine endogène basale n'a été observée, ni par Bastianelli (1996), ni par Hess et Sève (1999a). Elle pourrait éventuellement être liée à la modification du niveau alimentaire des animaux dans notre étude (Stein, 1998). Toutefois, elle pourrait avoir biaisé la détermination des proportions de protéines endogène et alimentaire dans les digesta.

La nature de l'aliment distribué à l'animal peut également influer sur le profil de la protéine endogène totale. D'une part, le profil de la protéine endogène, déterminé au moyen d'un aliment protéiprive, est anormalement riche en glycine et en proline (De Lange et al., 1989b). D'autre part, compte tenu de la diversité des sécrétions endogènes et du mode d'action des facteurs antinutritionnels susceptibles de les modifier, il est très probable que le profil de la protéine endogène soit influencé par l'aliment. Par exemple, les fibres entraîneraient principalement une abrasion de l'épithélium gastrique et intestinal, occasionnant une augmentation de la sécrétion de mucus (Mariscal-Landin et al., 1995 ; Larsen et al., 1993). Au contraire, les facteurs antitrypsiques, induiraient une sécrétion accrue des enzymes protéolytiques avec lesquels ils forment des complexes stables (Schulze et al., 1994b ; Grala et al., 1998b). Boisen et Moughan (1996) affirment que le profil de la protéine endogène est indépendant de l'aliment. Cependant, ce problème n'a été que très rarement abordé, puisque seul le marquage de l'aliment permet de mesurer l'excrétion endogène de chacun des acides aminés, pris individuellement. En employant cette technique, Hess (1999) a montré que le type de pois peut influencer le profil de la protéine endogène, mais que les changements portent principalement sur la proline et la glycine.

La protéine microbienne n'a pas été introduite dans nos modèles. Elle a donc été de fait, considérée comme partie intégrante de la protéine endogène. Tout changement de la quantité de protéine microbienne dans les digesta peut en modifier le profil en acides aminés (Caine et al., 1999) et ainsi biaiser nos estimations de pertes azotées endogènes. En utilisant le DAPA (acide diaminopimélique) comme marqueur, Dierick et al. (1983), Poppe et al. (1983), Dugan et al., (1994), Schulze et al. (1994a) et Bartelt et al. (1997) ont montré que l'azote microbien représente une part non négligeable de l'azote présent à la fin de l'iléon.

Chez des animaux alimentés à base de céréales, cette proportion atteindrait 20 à 50%. Selon Boisen et Moughan (1996), le type de population bactérienne, l'activité bactérienne et la quantité d'azote d'origine microbienne pourraient être influencés par la quantité d'azote provenant du flux d'urée entre le sang et le tractus digestif, et par l'apport de fibres et de protéines par l'aliment. Les méthodes actuellement disponibles ne permettent pas d'évaluer avec précision la quantité d'acides aminés microbiens présents à la fin de l'iléon. Cependant, la littérature disponible laisse penser que la présence d'azote disponible pour les synthèses protéiques, plutôt que la quantité et le type de fibres fournis à l'animal, influenceraient la quantité d'azote d'origine microbienne présente à la fin de l'iléon (Bach Knudsen et al., 1991; Schulze et al., 1994a; Mariscal-Landin et al., 1995; Bartelt et al.,1997; Caine et al., 1999).

C.1.2 - Protéines alimentaires

Dans notre étude, nous ne disposions que du profil de la protéine alimentaire dans sa globalité. Il nous a donc été nécessaire de collecter, dans la littérature disponible, le profil d'autres protéines de référence. Pour toutes les matières premières, nous avons choisi de n'introduire, dans les modèles, que le profil de la protéine alimentaire totale et celui de la protéine contenue dans le résidu NDF. Ce choix a été motivé par le fait que Mariscal-Landin (1992), sur des issues de meunerie, puis Lechevestrier (1996), sur des tourteaux d'oléagineux et des céréales, ont démontré qu'au moins une fraction de cette partie de la matière première constituait l'indigestible alimentaire retrouvé à la fin de l'iléon. Prélever de telles données dans la littérature comporte deux risques majeurs. D'une part, le profil de la protéine contenue dans le résidu NDF est susceptible de varier d'un lot à l'autre, au sein d'une même matière première. D'autre part, la méthode employée pour doser les acides aminés peut entraîner des biais. A cet égard, nous avons souhaité ne pas multiplier les sources bibliographiques.

Les résultats que nous avons obtenus à partir des profils de protéine du résidu NDF du blé, du triticale, du seigle, de l'orge, du maïs ***(Partie II.III - C.2 - p 115)***, du tourteau de colza et du tourteau de soja ***(Partie II.VI - C.2 - p 162)*** nous permettent de supposer que le profil de la protéine du résidu NDF est vraisemblablement assez peu variable d'un lot à l'autre. Concernant le corn gluten feed et les co-produits de meunerie, nous avons montré, en accord avec les résultats de Mariscal-Landin (1992), que la digestibilité iléale vraie des acides aminés variait en fonction de la quantité d'azote présent dans le résidu NDF ***(Tableau 39, p 141 et Tableau 44, p 154).*** Or, la méthode de régression linéaire multiple ne nous a pas permis de quantifier la présence de cette partie de la matière première dans les digesta. S'agissant de co-produits issus de procédés assez complexes, il est possible que le profil de la protéine contenue dans le résidu NDF de ces matières premières soit plus variable.

Le sorgho est la seule céréale pour laquelle la protéine alimentaire et non la protéine liée au résidu NDF est retrouvée dans les digesta ***(Partie II.III - C.2 - p 115).*** Ce résultat étant en accord avec ceux de Mariscal-Landin (1992), on ne peut légitimement suspecter une variabilité du profil de la protéine du résidu NDF de cette céréale.

C.2 - Information apportée par le calcul de la distance du χ^2

Le ***Tableau 51 (p 187)*** présente la distance du χ^2 entre les protéines de référence ainsi qu'entre les protéines de référence et les digesta. La distance du χ^2 entre la protéine endogène et la protéine alimentaire était élevée dans tous les cas (119 pour un lot de tourteau de colza à 575 pour un lot de blé). Pour la plupart des matières

premières, la faible distance du χ^2 entre les digesta et la protéine du résidu NDF, comparée à la distance calculée entre les digesta et la protéine alimentaire, corrobore les résultats obtenus par régression multiple.

Concernant les co-produits de meunerie, le calcul de la distance du χ^2 confirme, comme l'avait montré Mariscal-Landin (1992), que le résidu NDF constitue vraisemblablement la fraction indigestible alimentaire. En effet, le profil de la protéine des digesta est plus proche de celui de la protéine du résidu NDF que de celui de la protéine alimentaire (χ^2 = 67 à 91 vs 382 à 456, 72 à 95 vs 157 à 265 et 76 à 79 vs 124 à 198 pour, respectivement, les farines basses, les remoulages et les sons). L'absence de résultat pertinent par régression linéaire multiple pourrait avoir pour origine une corrélation trop élevée (distance du χ^2 trop faible) entre le profil de la protéine endogène mesuré dans notre étude et celui de la protéine du résidu NDF mesuré par Mariscal-Landin (1992).

Pour le corn gluten feed, bien que de façon moins nette, le profil des digesta est plus proche de celui de la protéine du NDF que de celui de la protéine alimentaire (χ^2 = 89 à 110 vs 86 à 226). Ceci tend à montrer que, pour cette matière première, le NNDF constitue, au moins pour partie, la fraction indigestible.

C.3 - Information apportée par l'analyse factorielle des correspondances

Dans la plupart des cas, l'analyse factorielle des correspondances confirme la proximité de la protéine excrétée avec la protéine endogène et la protéine du NDF. A titre d'exemple, les graphiques obtenus pour le blé et l'orge sont présentés ***Figure 20 (p 188)***. Pour ces deux céréales, plus de 95% de la variance totale est expliquée par le premier plan de projection. Le profil de la protéine excrétée se trouve entre celui de la protéine du résidu NDF et celui de la protéine endogène.

La figure obtenue pour le sorgho ***(Figure 20, p 191)*** est proche de celle qu'a proposée Mariscal-Landin (1992) et confirme la présence probable de protéine alimentaire plutôt que de protéine liée au résidu NDF dans les digesta.

Pour les co-produits de meunerie, 92.5, 92.2 et 95.7% de la variance totale est expliquée par le premier plan de projection pour les farines basses, les remoulages et les sons, respectivement. Les figures obtenues sont assez différentes de celles qu'a établies Mariscal-Landin (1992). Pour tous ces produits, et en particulier pour les farines basses et les remoulages, la proximité de la protéine contenue dans les digesta avec la protéine endogène est beaucoup plus marquée que ce qu'avait constaté cet auteur. On pourrait alors conclure à la présence quasi exclusive de protéine endogène dans les digesta, quel que soit le co-produit, ce qui est peu probable, compte tenu de résultats de Mariscal-Landin (1992), puis de ceux Hess et Sève (1999b) pour les remoulages. Pour le corn gluten feed, 88% de la variance totale est expliquée par le premier plan de projection. La figure suggère que l'indigestible alimentaire est constitué à la fois de protéine liée au résidu NDF et de protéine alimentaire. Elle suggère, de plus, que la protéine endogène représente une part vraisemblablement importante, quoique variable selon le lot de corn gluten feed, de la protéine excrétée à la fin de l'iléon.

D - CONCLUSIONS

Le dispositif expérimental que nous avons mis en oeuvre ne nous a pas permis de contrôler rigoureusement les effets du groupe et du stade. Il a cependant conduit à la détermination de la digestibilité des acides aminés avec une reproductibilité comparable à celle que

permettent des dispositifs expérimentaux plus élaborés. Toutefois, même s'il requiert une planification parfois difficile à mettre en œuvre dans la pratique, un dispositif expérimental permettant de mieux cerner les éventuels effets du groupe et du stade, afin de les inclure de façon plus sûre dans la variation résiduelle et de réduire le risque de les confondre avec des effets lots ou matière première, peut être recommandé.

Nos données suggèrent qu'il est superflu de prendre en compte une excrétion endogène basale individuelle pour la correction de la digestibilité apparente en digestibilité vraie. La moyenne obtenue avec un nombre suffisamment grand d'animaux peut constituer le facteur correctif. Encore faut-il prendre soin de vérifier la stabilité de cette moyenne au cours du temps. Toutefois, entre 30 et 60 kg, la quantification de l'effet du poids sur l'excrétion endogène basale et sa prise en compte pour le calcul de la digestibilité iléale vraie pourrait améliorer le système.

Pour certaines matières premières, la méthode de régression linéaire multiple que nous avons utilisée pour quantifier l'excrétion endogène spécifique a échoué. Pour les co-produits de meunerie, on peut soupçonner des problèmes de corrélation entre les protéines de référence ou encore l'introduction de profils de protéines de référence inadéquats. La mesure, sur nos lots de co-produits, du profil de la protéine du résidu NDF aurait peut-être permis d'éviter en partie ces difficultés. Toutefois, cette méthode statistique ne générant aucun surcoût expérimental, elle pourrait être employée pour reprendre les données de digestibilité existantes, afin d'apporter des éléments de quantification de l'excrétion endogène spécifique, au moins dans l'attente de l'obtention de résultats fiables, par marquage de l'animal ou de l'aliment, sur un grand nombre de matières premières.

Tableau 50 : Comparaison de la digestibilité iléale des acides aminés de différentes matières premières ou de différents lots d'un même type de matière première : écart type résiduel obtenu dans différents laboratoires

Référence	Dispositif	Techn. [1]	Matières premières	Ecart type résiduel (points de digestibilité) N	Lys	Thr	Met	Cys	Trp
Céréales									
Green et al. (1987)	carré latin 4x4	AIR-TT	blé, maïs, orge	0.7	1.2	1.3	0.7	0.8	-
Lechevestrier (1996)	carré latin 5x5	AIR-TT	blé, maïs, orge, avoine, seigle	1.4	2.8	2.7	3.5	2.9	-
Nos données			*blé, maïs, orge, seigle, maïs, sorgho*	*1.8*	*2.9*	*2.5*	*2.0*	*1.8*	*2.5*
Sauer et al. (1981)	carré latin 5x5	C-R	blé	0.7	1.9	1.2	1.7	-	-
Nos données			*blé*	*1.3*	*2.5*	*2.2*	*1.9*	*1.2*	*1.6*
Sauer et al. (1981)	carré latin 5x5	C-R	orge	0.7	1.0	1.4	1.8	-	-
Nos données			*orge*	*1.7*	*3.2*	*2.0*	*1.7*	*1.9*	*1.8*
Mariscal-Landin (1992)	carré latin 5x5	AIR-TT	sorgho	2.5	5.4	3.9	1.9	3.5	-
Nos données			*sorgho*	*2.4*	*4.5*	*3.7*	*2.6*	*2.6*	*2.6*
Co-produits de meunerie									
Mariscal-Landin (1992)	carré latin 5x5	AIR-TT	farine basse, remoulage, son	2.3	2.0	2.7	1.0	0.7	-
Hess et Sève (1999b)	carré latin 5x5	AIR-TT	blé, farine basse, son	1.3	2.6	2.1	1.7	1.3	1.1
Nos données			*farine basse, remoulage, son*	*3.5*	*4.1*	*3.2*	*2.4*	*2.2*	*2.4*
Tourteaux d'oléagineux									
Sauer et al. (1982)	carré latin 5x5	C-R	tourteau de colza	1.5	1.5	2.1	2.7	-	-
Mariscal-Landin (1992)	carré latin 5x5	AIR-TT	tourteau de colza	3.4	2.5	3.4	5.6	2.7	-
Lechevestrier (1996)	carré latin 5x5	AIR-TT	tourteau de colza	2.0	1.2	2.6	3.3	2.0	-
De Lange et al. (1998)	20 Ax x 12 mp	C-T	tourteau de colza	2.9	1.7	2.4	1.4	2.3	-
Nos données			*tourteau de colza*	*1.2*	*1.5*	*1.0*	*1.2*	*1.3*	*2.1*
Chang et al. (1987)	carré latin 5x5	C-T	tourteau de soja	3.3	4.0	6.1	7.0	-	5.1
Nos données			*tourteau de soja*	*1.5*	*2.0*	*1.6*	*1.5*	*2.1*	*1.9*
Green et Kiener (1989)	20 Ax x 12 mp	AIR-TT	tourteaux de colza, tournesol, soja	3.0	2.7	3.6	2.5	3.0	-
Nos données			*tourteaux de colza, tournesol, soja*	*1.3*	*1.8*	*1.4*	*1.3*	*2.1*	*1.9*

[1] technique chirurgicale C-T : canule en T ; AIR-TT : anastomose iléo-rectale termino-terminale ; C-R : canule réentrante

Tableau 51 : Distance du χ^2 entre les profils[1] de la protéine endogène, de la protéine du NDF, de la protéine alimentaire et des digesta

Blé (**W**heat)			
	Endo[4]	NDF_W[2]	Digesta[5]
Endo[4]			22 - 39
NDF_W[2]	119		45 - 122
W	333 - 575	102 - 275	211 - 514

Triticale (**T**riticale)			
	Endo	NDF_T[2]	Digesta
Endo			16 - 28
NDF_T[2]	98		41 - 71
T	267 - 462	103 - 244	178 - 437

Seigle (**R**ye)			
	Endo	NDF_R[2]	Digesta
Endo			31 - 38
NDF_R[2]	72		18 - 22
R	279 - 328	146 - 177	169 - 249

Orge (**B**arley)			
	Endo	NDF_B[2]	Digesta
Endo			30 - 64
NDF_B[2]	105		15 - 50
B	332 - 402	100 - 138	165 - 310

Maïs (**M**aize)			
	Endo	NDF_M[2]	Digesta
Endo			24 - 65
NDF_M[2]	204		72 - 147
M	249 - 354	36 - 65	121 - 286

Sorgho (**S**orghum)			
	Endo	NDF_S[3]	Digesta
Endo			70 - 211
NDF_S[3]	290		109 - 190
S	371 - 489	118 - 200	90 - 278

T. Colza (Rape**s**eed **M**eal**)**			
	Endo	NDF_{RSM}[2]	Digesta
Endo			37 - 57
NDF_{RSM}[2]	74		27 - 72
RSM	119 - 164	38 - 75	52 - 202

T. Tournesol (**S**un**f**lower **M**eal**)**			
	Endo	NDF_{SFM}[3]	Digesta
Endo			31 - 45
NDF_{SFM}[3]	84		75 - 106
SFM	201 - 254	264 - 346	108 - 266

T. Soja (**S**oy**b**ean **M**eal)			
	Endo	NDF_{SBM}[2]	Digesta
Endo			42 - 97
NDF_{SBM}[2]	97		38 - 82
SBM	198 - 226	51 - 68	75 - 142

Farine basse de blé (**W**heat **M**iddlings)				
	Endo	NDFWM[3]	NDFW[2]	Digesta
Endo				19 - 52
NDFWM[3]	86			67 - 91
NDF_W[2]	119	86		97 - 115
WM	453 - 492	340 - 378	196 - 240	382 - 456

Remoulage de blé (**W**heat **F**eed)				
	Endo	NDF_{WF}[3]	NDF_W[2]	Digesta
Endo				15 - 41
NDF_{WF}[3]	90			72 - 95
NDF_W[2]	119	152		121 - 136
WF	179 - 269	161 - 219	21 - 74	157 - 265

Son de blé (**W**heat **B**ran**)**				
	Endo	NDF_{WB}[3]	NDF_W[2]	Digesta
Endo				21 - 23
NDF_{WB}[3]	79			76 - 79
NDF_W[2]	119	164		96 - 157
WB	160 - 188	176 - 196	17 - 24	124 - 198

Corn gluten feed (**M**aize **G**luten **F**eed**)**				
	Endo	NDF_{MGF}[3]	NDF_M[2]	Digesta
Endo				36 - 114
NDF_{MGF}[3]	112			89 - 110
NDF_M[2]	204	123		101 - 187
MGF	120 - 260	131 - 180	22 - 50	86 - 226

[1] les profils sont calculés en pourcentage du total des acides aminés. La proline et le tryptophane sont exclus

[2] d'après Lechevestrier (1996)

[3] d'après Mariscal-Landin (1992)

[4] profil de la protéine endogène basale

[5] profil de la protéine collectée à la fin de l'iléon (moyenne des profils obtenus à partir des quatre animaux ayant reçu le même aliment)

X, NDF_X : respectivement profils de la protéine alimentaire et de la protéine du NDF correspondant à la matière première X

Figure 20 : Analyse factorielle des correspondances comparant les profils de composition en acides aminés des digesta à ceux des matières premières, de la protéine du résidu NDF et de la protéine endogène

Blé (Wheat) :

Variables actives ■ : profil de la matière première (W1 à 10) ; profil de la protéine du résidu NDF(NDFW) ; profil de la protéine endogène (Endo)

Variables supplémentaires : profil de la protéine excrétée (EW1 à 10)

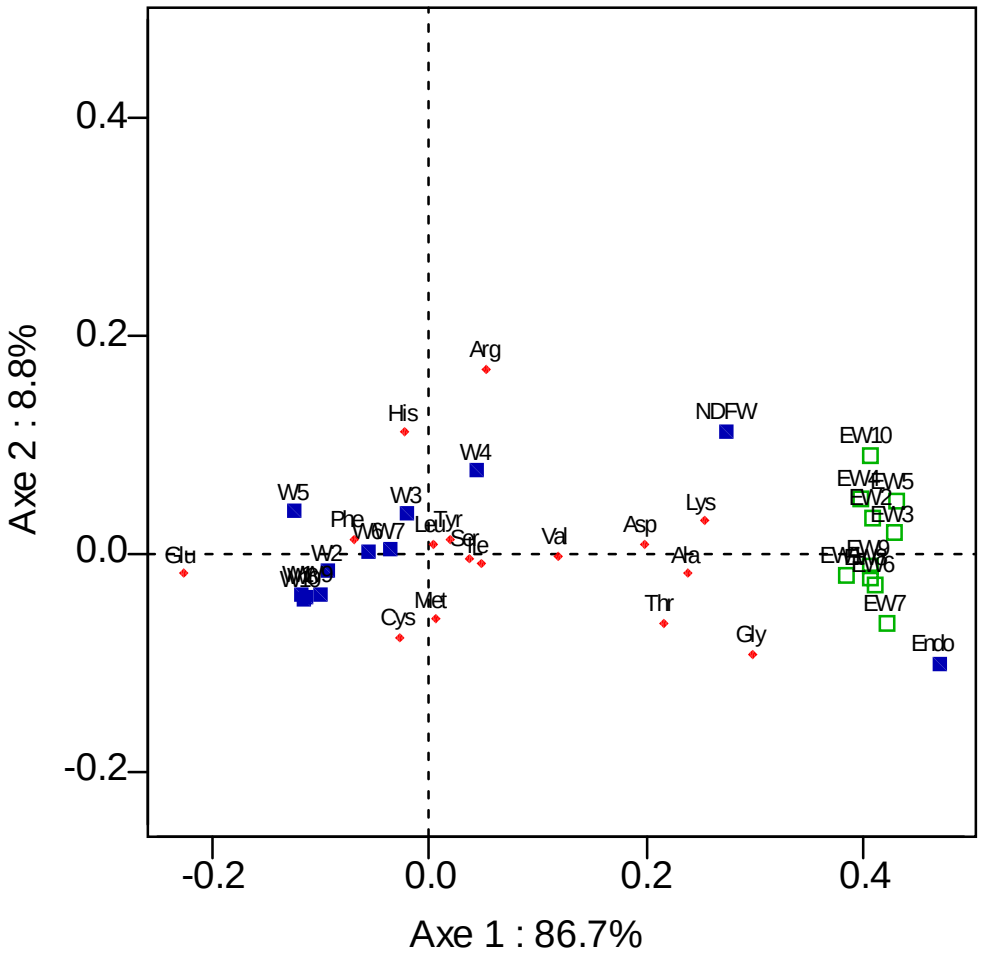


Figure 20 : Analyse factorielle des correspondances comparant les profils de composition en acides aminés des digesta à ceux des matières premières, de la protéine du résidu NDF et de la protéine endogène (suite)

Orge (Barley) :

Variables actives ■ : profil de la matière première (B1 à 5) ; profil de la protéine du résidu NDF(NDFB) ; profil de la protéine endogène (Endo)

Variables supplémentaires : profil de la protéine excrétée (EB1 à 5)

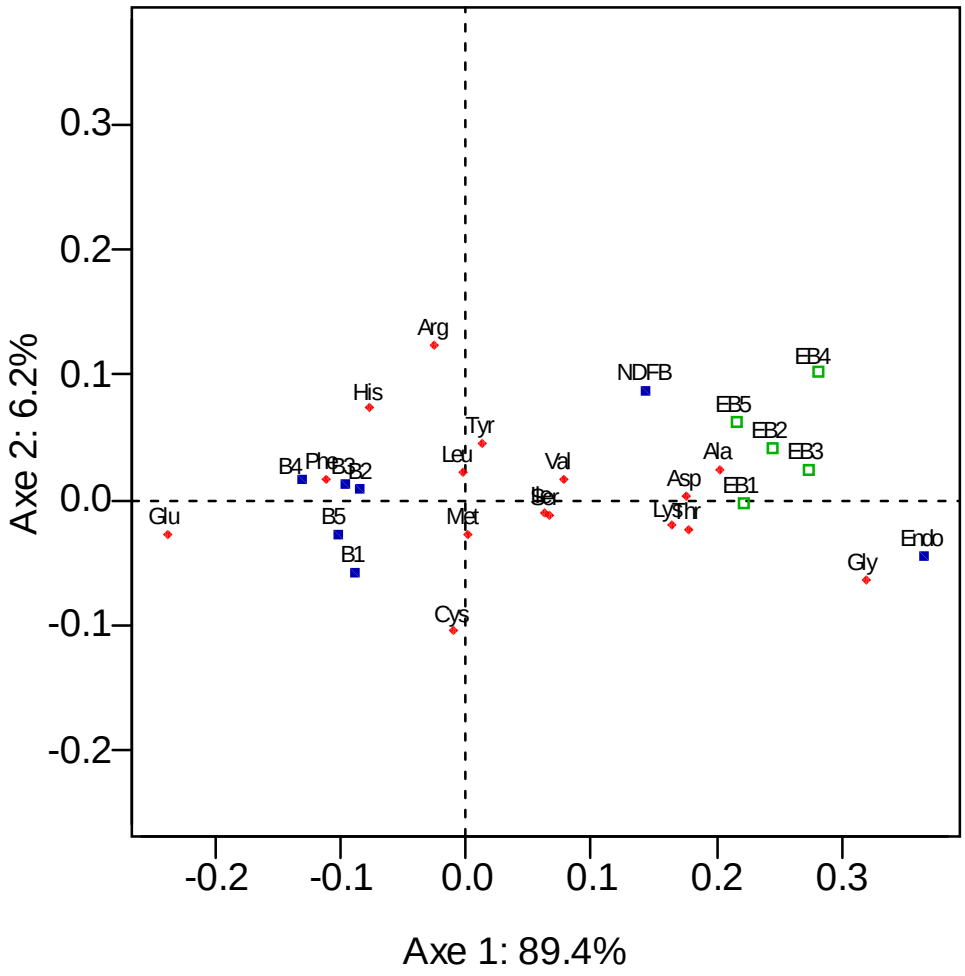


Figure 20 : Analyse factorielle des correspondances comparant les profils de composition en acides aminés des digesta à ceux des matières premières, de la protéine du résidu NDF et de la protéine endogène (suite)

Sorgho (Sorghum) : *Variables actives* ■ : profil de la matière première (S 1 à 6) ; profil de la protéine du résidu NDF(NDFS) ; profil de la protéine endogène (Endo)
Variables supplémentaires : profil de la protéine excrétée (ES1 à 6)

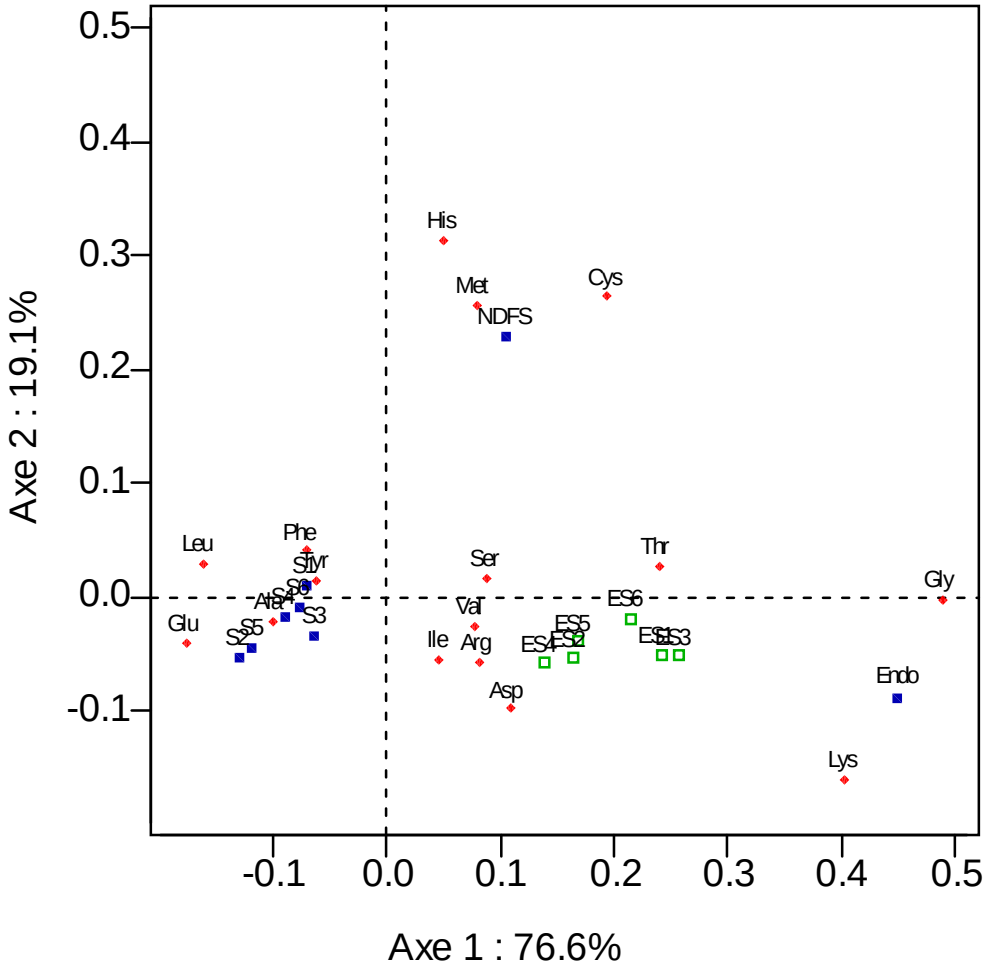


Figure 20 : Analyse factorielle des correspondances comparant les profils de composition en acides aminés des digesta à ceux des matières premières, de la protéine du résidu NDF et de la protéine endogène (suite)

Farine basse de blé (wheat middlings) : *Variables actives* ■ : profil de la matière première (WM1 à WM 3); profil de la protéine du résidu NDF (NDFWM, NDFW) ; profil de la protéine endogène (Endo)
Variables supplémentaires : profil de la protéine excrétée (EWM1 à 3)

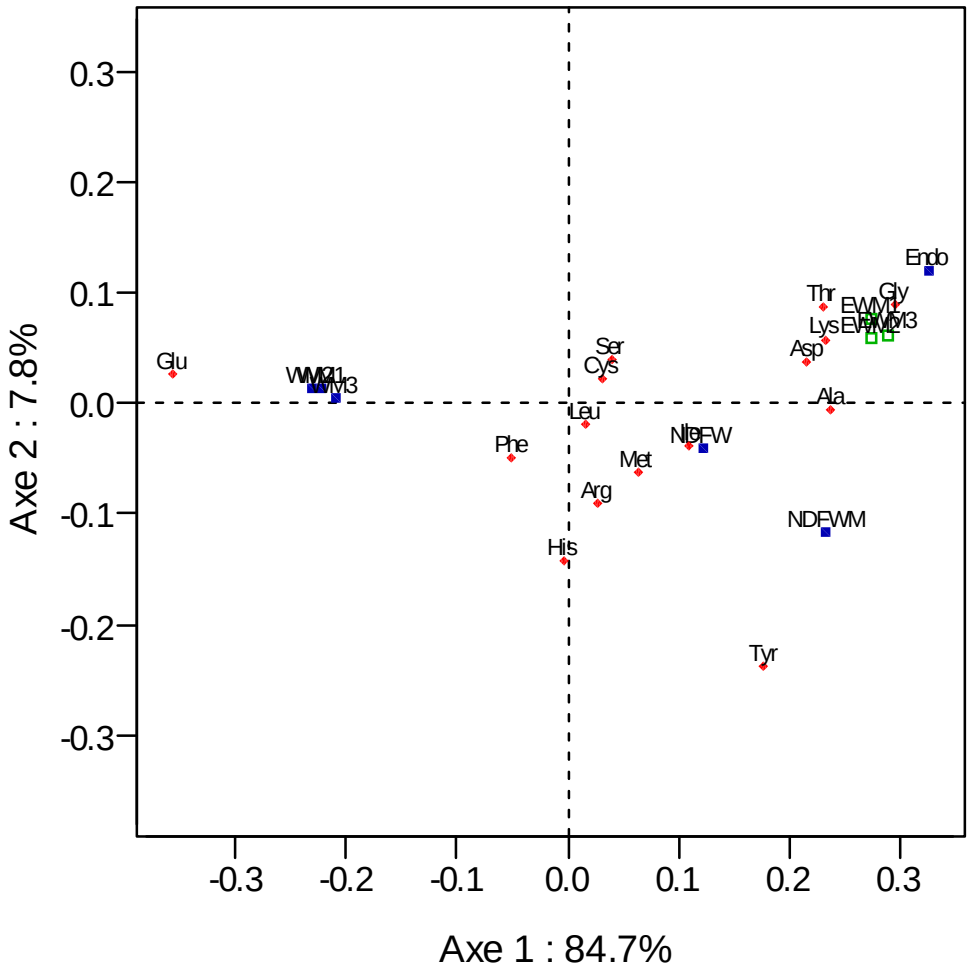


Figure 20 : Analyse factorielle des correspondances comparant les profils de composition en acides aminés des digesta à ceux des matières premières, de la protéine du résidu NDF et de la protéine endogène (suite)

Remoulage (wheat feed) : *Variables actives* ■ : profil de la matière première : (WF1 à 4) ; profil de la protéine du résidu NDF (NDFWF, NDFW) ; profil de la protéine endogène (Endo)
Variables supplémentaires : profil de la protéine excrétée (EWF1 à 4)

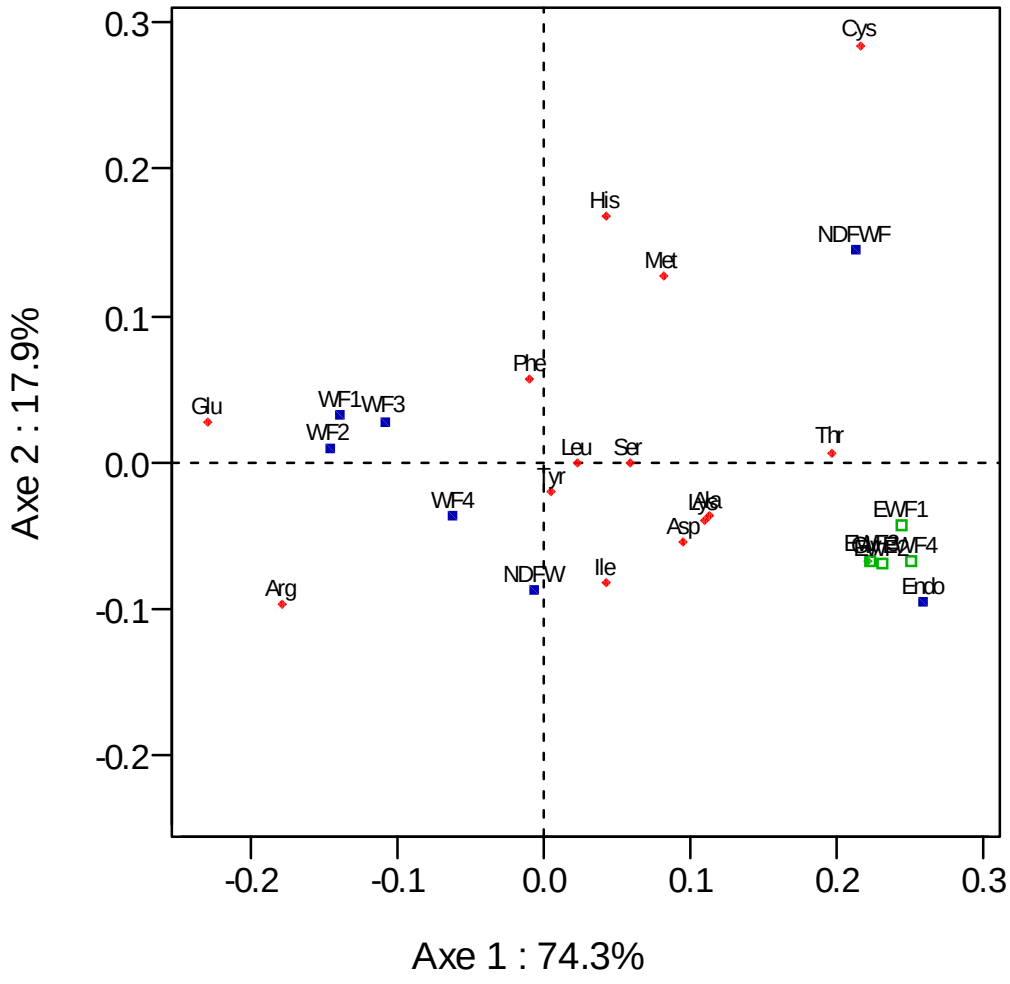


Figure 20 : Analyse factorielle des correspondances comparant les profils de composition en acides aminés des digesta à ceux des matières premières, de la protéine du résidu NDF et de la protéine endogène (suite)

Son de blé (wheat bran) : *Variables actives* ■ : profil de la matière première : (WB1 à 3) ; profil de la protéine du résidu NDF (NDFWB, NDFW) ; profil de la protéine endogène (Endo)
Variables supplémentaires : profil de la protéine excrétée (EWB1 à 3)

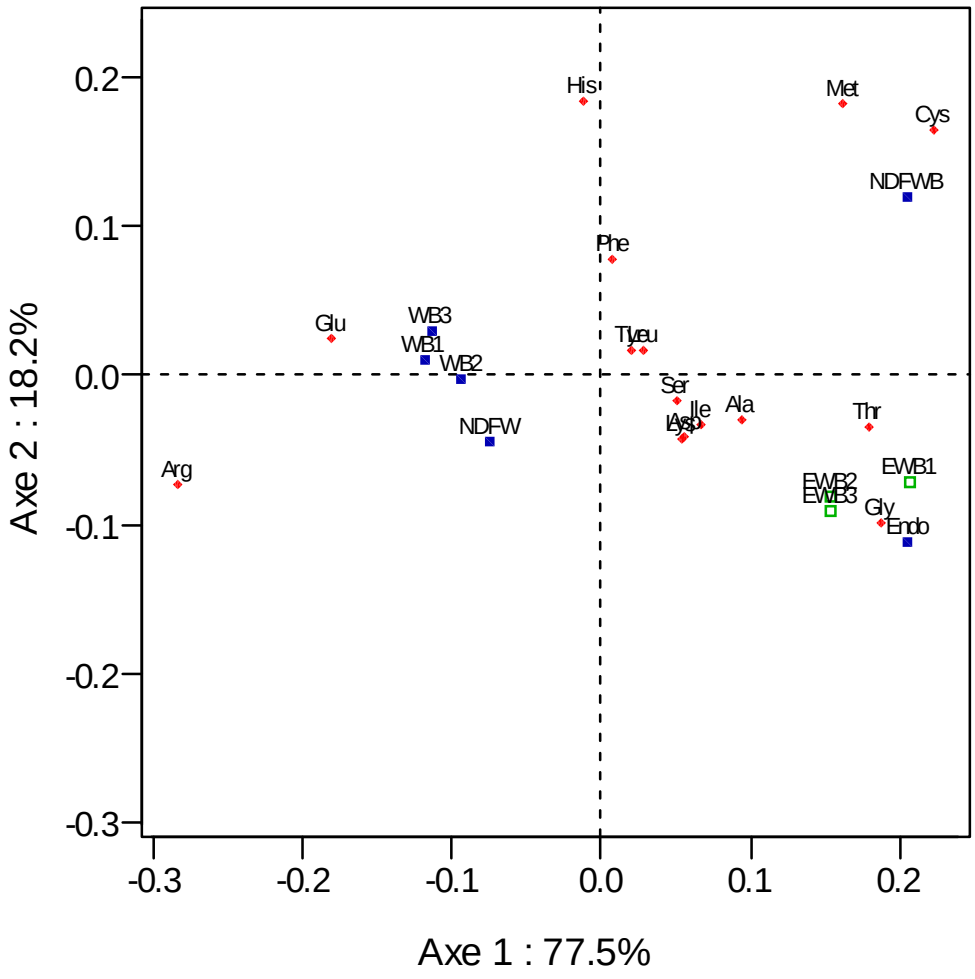
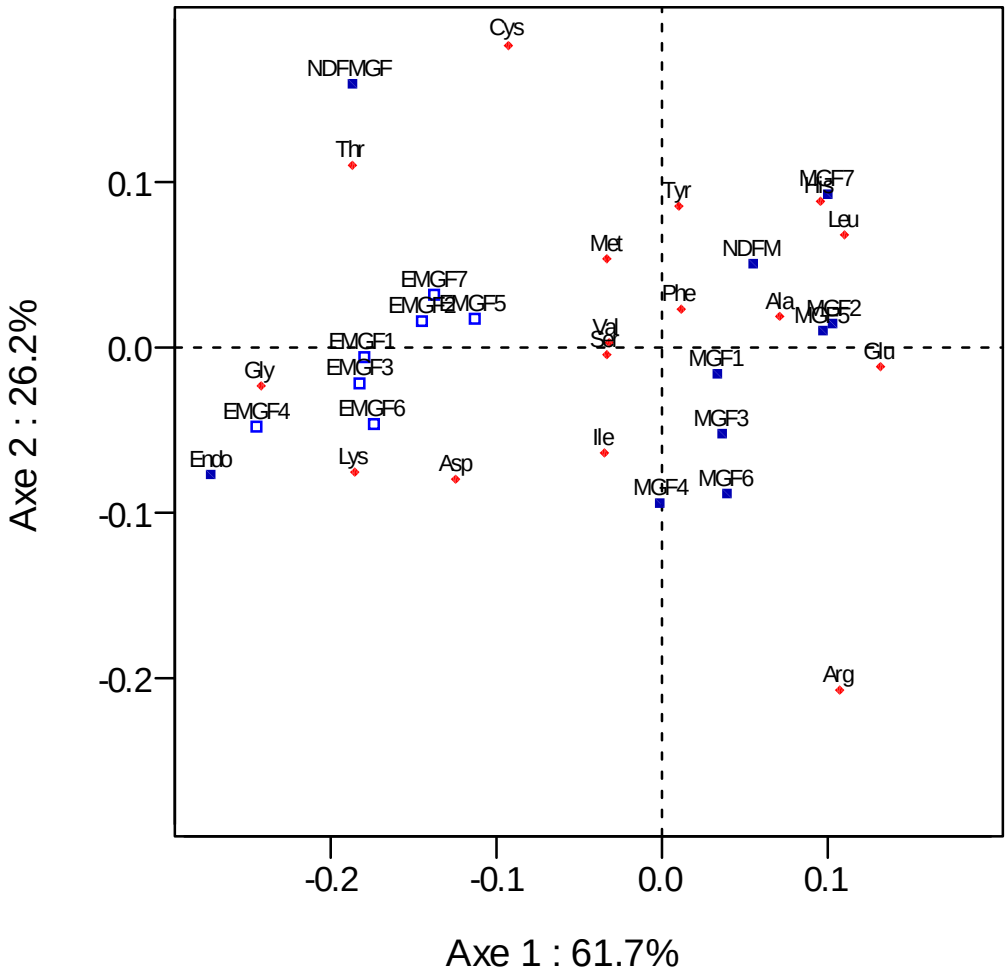


Figure 20 : Analyse factorielle des correspondances comparant les profils de composition en acides aminés des digesta à ceux des matières premières, de la protéine du résidu NDF et de la protéine endogène (suite)

Corn gluten feed (Maize Gluten Feed) :

Variables actives ■ : profil de la matière première (WGF1 à 7) ; profil de la protéine du résidu NDF du corn gluten feed (NDFMGF) ; profil de la protéine du résidu NDF du maïs (NDFM) ; profil de la protéine endogène (Endo)
Variables supplémentaires : profil de la protéine excrétée (EMGF1 à 7)



II - Facteurs de variation de l'utilisation digestive des acides aminés des matières premières chez le porc en croissance

L'un des objectifs initiaux de notre étude était l'évaluation de la variabilité, intra matière première, de la digestibilité iléale vraie des acides aminés. Nous souhaitions également déterminer, à partir de critères analytiques utilisables en routine, quels composants sont susceptibles d'être source de variabilité et, le cas échéant, établir des équations de prédiction.

Dans un second temps, nous avons recherché les facteurs de variation respectifs de l'indigestible alimentaire et de l'excrété d'origine endogène, après la distinction et la quantification de ces deux composants des digesta.

A - FACTEURS DE VARIATION DE LA DIGESTIBILITE ILEALE VRAIE DES ACIDES AMINES

Pour toutes les matières premières, nous avons mis en évidence des différences significatives entre lots pour la digestibilité iléale vraie des acides aminés. Toutefois, des équations de prédiction de la digestibilité iléale vraie des acides aminés n'ont pu être établies que pour les co-produits de meunerie ***(Tableau 39, p 141),*** le corn gluten feed ***(Tableau 44, p 154)*** et le tourteau de soja ***(Tableau 48, p 174)***. Pour ces matières premières, la digestibilité iléale vraie de la plupart des acides aminés diminuait linéairement avec la teneur en fibres insolubles (CB, ADF ou ADL) rapportée à la teneur en acides aminés et/ou le pourcentage d'azote lié au résidu NDF.

Sans établir d'équation de prédiction, nous avons observé une corrélation négative entre la digestibilité iléale vraie de la plupart des acides aminés et la teneur en cellulose brute et en ADF des aliments à base de triticale, et en ADL des aliments à base de sorgho. Pour un nombre plus restreint d'acides aminés, le même type de corrélation, avec la cellulose brute, a été relevée pour le blé ***(Partie II.III - D.3 - , p 117).***

L'excrété total n'étant corrigé que de l'excrétion endogène basale, ces relations reflètent probablement un effet négatif des fibres insolubles, et en particulier de la fraction ligno-cellulosique, sur la digestibilité iléale vraie, en raison d'une augmentation de l'excrétion endogène spécifique d'azote et/ou de l'indigestible alimentaire.

Toutefois, l'absence, dans certains cas, de facteurs explicatifs de la variabilité intra matière première, parmi les critères analytiques que nous avons déterminés, suggère soit :

- Une trop faible répétabilité des mesures de digestibilité telles que nous les avons menées pour cerner valablement la variabilité intra matière première
- Une trop faible répétabilité des critères analytiques que nous avons choisis pour rendre compte de l'effet négatif des fibres insolubles sur la digestibilité iléale vraie des acides aminés intra matière première
- L'implication d'autres caractéristiques des matières premières dans la variabilité de la digestibilité iléale vraie des acides aminés.

A cet égard, nous avons complété les analyses menées sur les céréales en mesurant leurs teneurs en hémicelluloses solubles, arabinoxylanes solubles et β-glucanes solubles, ainsi que la viscosité d'un extrait aqueux. Aucune de ces caractéristiques n'était corrélée avec la digestibilité iléale vraie des acides aminés. Comme ceux de Graham et al. (1986), Jensen et al. (1998), Lewis et al. (1998) et Yin et al. (2000), nos résultats suggèrent que ces composants sont sans impact notable sur la digestibilité iléale des acides aminés des céréales chez le porc. Selon ces auteurs, les microorganismes, naturellement présents dans l'intestin grêle du porc, seraient capables de les dégrader. Par conséquent, comme nous l'avons

indiqué dans la ***Partie II.III - D.3 - (p 117)*** de ce document, leur impact présumé sur l'accessibilité des enzymes digestives aux contenus intracellulaires et sur l'absorption des produits de la digestion serait limité chez le porc.

Les facteurs antitrypiques et les phytates sont également parfois cités comme facteurs de variation possibles de la digestibilité iléale vraie des acides aminés des céréales (Boisen, 1983). Toutefois, leur impact réel n'est pas prouvé (Evers et al., 1999 ; van Barneveld et al., 1999).

D'autres éléments, que nous n'avons pas explorés peuvent être source de variabilité intra matière première. La nature de l'amidon peut avoir un impact sur l'excrétion endogène spécifique d'azote (Darcy et al., 1981). La nature des protéines peut influer sur l'excrétion endogène spécifique d'azote (Butts et al., 1993) ainsi que sur l'indigestible alimentaire (Savoie et al., 1988). A cet égard, selon Elkin et al. (1996), la structure de la kafirine, principale protéine de structure du sorgho, pourrait être un facteur de variation important de la digestibilité iléale des acides aminés, pour des variétés pauvres en tannins.

Concernant les tourteaux d'oléagineux, nous ne connaissions avec précision, ni les conditions de production, ni l'origine génétique des lots que nous avons testés. Ces deux éléments peuvent cependant avoir un effet significatif sur la digestibilité iléale vraie des acides aminés (De Lange et al., 1998).

Les traitements thermiques appliqués aux tourteaux de soja permettent de réduire l'activité antitrypsique. Selon Chang et al. (1987), l'activité antitrypsique présente dans les tourteaux de soja commerciaux est sans impact notable sur la digestibilité iléale vraie des acides aminés, ce que semble confirmer notre étude. Toutefois, à bas niveau ingéré, ces composés, probablement sans effet sur l'indigestible alimentaire, induisent une augmentation de l'excrétion endogène d'azote (Schulze et al., 1994b ; Grala et al., 1998a). Il est donc possible que, sans que leur effet sur la digestibilité iléale vraie soit significatif, ces composés entraînent une augmentation de l'excrétion endogène spécifique d'azote et contribuent à la variabilité entre lots. De même, certains lots de tourteaux de soja, en dépit des traitements thermiques qui leurs sont appliqués, pourraient contenir des niveaux de lectines fonctionnelles suffisants pour induire un effet sur l'utilisation digestive des acides aminés (Maenz et al., 1999).

Dans le cas du tourteau de colza, les traitements thermiques peuvent permettre de diminuer l'effet négatif des fibres sur l'accessibilité des enzymes aux contenus intra cellulaires. Ils peuvent également permettre une réduction de l'excrétion endogène d'azote par l'inactivation des produits de la dégradation des glucosinolates (Grala et al., 1998a). Cependant, un traitement inapproprié peut induire des réactions de Maillard, conduisant à la moindre digestibilité iléale vraie de la lysine en particulier (Grala et al., 1994).

B - FACTEURS DE VARIATION DE L'INDIGESTIBLE ALIMENTAIRE

Dans notre étude, la partition des digesta, par régression linéaire multiple, entre protéine d'origine alimentaire, d'une part, et d'origine endogène, d'autre part, suggère que , pour les céréales, excepté le sorgho, et pour les tourteaux d'oléagineux, l'indigestible alimentaire est majoritairement constitué d'azote lié au résidu NDF. Ce résultat est en accord avec ceux de Mariscal-Landin (1992) et de Lechevestrier (1996). L'analyse factorielle des correspondance menée sur les lots de corn gluten feed semble indiquer que l'indigestible alimentaire contient également de l'azote lié au résidu NDF ***(Figure 20, p 195)***. De plus, bien que nous l'ayons pas mis en évidence, cette fraction de la matière première est probablement l'un des constituant

de l'indigestible alimentaire pour les co-produits de meunerie (Mariscal-Landin, 1992). Les fibres exerceraient un « effet de piège » sur les protéines qui leurs sont liées, les rendant moins accessibles aux enzymes digestives (Taverner et al., 1981b ; Green et al., 1987 ; Sève et al., 1994a ; Johansen et al., 1997).

Cependant, d'un point de vue quantitatif, la mesure de la quantité d'azote liée au résidu NDF, ne permet de rendre compte de différences de digestibilité entre lots que pour les co-produits de meunerie et le corn gluten feed ***(Tableau 39, p 141 et Tableau 44, p 154)***. Pour le tourteau de soja, l'équation de prédiction de la digestibilité réelle des acides aminés en fonction du ratio NDF/AA ***(Tableau 49, p 175)*** laisse supposer, compte tenu de la corrélation probable entre la teneur en NDF et la quantité d'azote qui lui est lié (Lechevestrier, 1996), la pertinence de ce critère pour la prédiction de la digestibilité iléale réelle.

Comme discuté au paragraphe précédent, la quantité d'azote liée au résidu NDF n'est peut-être pas l'unique facteur de variabilité de l'indigestible alimentaire entre lots intra-matière première. D'autres composants ou caractéristiques des matières premières peuvent influer sur la dégradation et l'absorption des protéines liées au résidu NDF et/ou sur celles d'autres fractions de la matière première.

Cependant, compte tenu des difficultés liées à son dosage, l'azote du résidu NDF ne constitue une variable quantitative intéressante que pour les matières premières présentant des teneurs suffisamment élevées et variables d'un lot à l'autre. C'est le cas en particulier pour les matières premières subissant des traitements thermiques (tourteaux, corn gluten feed) pouvant conduire à une augmentation de la quantité d'azote lié au résidu NDF (van Soest et Mason, 1991). Pour les céréales, la quantité d'azote liée au résidu NDF et sa variabilité intra espèce sont probablement trop faibles pour rendre compte des différences significatives de digestibilité réelle ***(Figure 21, p 203).***

C - EXCRETION AZOTEE ENDOGENE

C.1 - Effet des fibres insolubles sur l'excrétion endogène d'azote

Dans notre étude, l'excrétion endogène d'azote (g/kg MSI) augmente avec la teneur en fibres de l'aliment expérimental. Les critères analytiques les plus appropriés sont l'ADF pour le blé (*P=0.09*) et le tourteau de soja (*P<0.001*), le NDF pour le seigle (*P=0.08*), l'orge (*P<0.05*) et le tourteau de soja (*P<0.05*), voire la cellulose brute pour tourteau de soja (*P<0.*05***) (Tableau 52, p 209)***. Pour le triticale, le maïs et le sorgho ainsi que pour le tourteau de colza, aucun des critères disponibles dans notre étude pour caractériser les fibres n'est approprié pour expliquer la variabilité entre lots.

La confrontation de nos résultats aux données de la littérature n'est pas aisée. En effet, peu d'auteurs fournissent des données d'excrétion azotée endogène assorties de la détermination des critères caractérisant les fibres. Par ailleurs, la méthodologie de mesure de l'excrétion azotée endogène d'azote peut conduire à des biais. En particulier, la possible surestimation de l'excrétion endogène d'azote par le marquage de l'animal à l'^{15}N (Lien et al., 1997) pourrait expliquer les valeurs d'excrétion azotée endogène élevées que proposent De Lange et al. (1990), pour le blé, l'orge et le tourteau de soja, et Yin et al. (2000) pour le blé et Makkink et al. (1997) pour le tourteau de soja ***(Figure 22, p 205).***

Toutefois, un certain nombre de données nous permettent de confirmer l'effet stimulateur des fibres insolubles sur l'excrétion endogène d'azote. C'est le cas des données de Lechevestrier (1996), obtenues sur du blé, du seigle et de l'orge, selon une méthodologie

identique à la nôtre, et qui sont cohérentes avec les nôtres, en particulier pour le critère ADF ***(Figure 22, p 205 et Tableau 52, p 209).***

Les données relatives au tourteau de colza disponibles dans la littérature (Lechevestrier, 1996 ; Grala et al., 1997 ; Grala et al., 1998a) suggèrent une augmentation de l'excrétion azotée endogène d'azote avec le taux de fibres de l'aliment expérimental (***Figure 22, p 205).*** Pour cette matière première, le coefficient de corrélation entre l'excrétion endogène d'azote (g/kg MSI) et le taux de fibres dans l'aliment (g/kg MS) est plus élevé avec les critères NDF, ADF et ADL qu'avec le critère CB ***(Tableau 52, p 209)***. Pour le tourteau de soja, l'augmentation de l'excrétion endogène d'azote avec la teneur en ADF de l'aliment est confirmée ***(Figure 22, p 205),*** avec toutefois une légère détérioration du coefficient de corrélation lorsque les données de Lechevestrier (1996) sont associées aux nôtres ***(Tableau 52, p 209).***

L'augmentation de l'excrétion endogène d'azote (g/kg MSI) lorsque la teneur de l'aliment en fibres insolubles (NDF) augmente est conforme aux résultats obtenus par Schulze et al. (1994a, 1995b), avec des régimes semi-synthétiques, additionnés de sources purifiées de fibres. Les mécanismes mis en œuvre seraient l'augmentation des sécrétions, en particulier de mucus, due à un effet mécanique des fibres, et, probablement dans une moindre mesure, à la capacité d'adsorption des acides aminés en particulier par la lignine, qui limiterait la réabsorption des sécrétions endogènes (Bergner et al., 1981).

Excepté pour l'orge et le seigle, pour lesquels peu d'observations existent dans la littérature, le critère ADF est mieux corrélé avec l'excrétion endogène d'azote que le critère NDF. Buraczewka et al. (1988) ont noté qu'une part non négligeable du NDF, principalement les hémicelluloses, sont digérées avant la fin de l'iléon du porc en croissance, en raison de l'activité de la microflore. De plus, la digestibilité du NDF varierait notablement d'une matière première à l'autre. Au contraire le résidu ADF est plus résistant, quelle que soit la matière première. Ce dernier critère permettrait donc de mieux rendre compte des processus digestifs. Par ailleurs, l'attaque au détergent acide permet probablement d'éliminer certains éléments (protéine) qui subsistent après l'attaque au détergent neutre, et sont peut-être sans effet sur l'excrétion endogène d'azote.

Les différences entre nos données et celles de la littérature pourraient avoir pour origine la faible reproductibilité des dosages de fibres. Elles pourraient également provenir de l'intervention d'autres caractéristiques des matières premières dans les variations de l'excrétion endogène d'azote, comme discuté ***Partie III.II - A - (p 195)***. Enfin, d'autres d'autres facteurs, liés à l'animal, pourraient être mis en jeu. En particulier, le stade de l'animal au moment de la mesure pourrait être une source de variabilité de l'excrétion endogène totale d'azote.

C.2 - Effet du poids de l'animal sur l'excrétion endogène d'azote

Hodgkinson et al. (1997) et Stein (1998), avec un aliment à base de caséine hydrolysée, et Hess et Sève (1999a), avec un aliment protéiprive, ont montré, qu'à niveau de fibre ingéré constant par unité de poids, l'excrétion endogène d'azote (g/kg MSI) diminue lorsque le poids des animaux augmente. Il se peut que l'excrétion endogène spécifique due à l'augmentation du taux de fibres, comme l'excrétion endogène basale soit dépendante du poids des animaux. Chez des animaux préparés en anastomose ileo-rectale termino-terminale, Laplace et al. (1994) ont montré que la digestibilité des fibres insolubles d'aliments à base de blé et de son de blé, y compris celle de

la fraction ligno-cellulosique, augmente lorsque le poids des animaux augmente de 30 à 90 kg. Cette dégradation accrue des fibres avec le poids de l'animal serait due à l'augmentation de l'activité de la flore microbienne dans la partie proximale du tube digestif. Elle pourrait entraîner une moindre sensibilité des animaux lourds aux fibres ingérées.

C.2.1 - Evaluation de l'effet du poids de l'animal et du niveau d'ingestion de fibres insolubles sur l'excrétion endogène d'azote

A partir de nos données, nous avons tenté de tester l'éventuelle interaction entre la quantité de fibres insolubles ingérées et le poids de l'animal, pour l'excrétion endogène basale et spécifique d'azote. Dans ce but, nous avons estimé la quantité totale d'azote endogène excrétée (g/j) en fonction de la quantité de matière sèche ingérée (g/j), de fibres insolubles ingérée (g/j) et du poids de l'animal (kg). L'excrétion endogène basale est exprimée en fonction de la quantité de matière sèche ingérée et l'excrétion endogène spécifique en fonction de la quantité de fibres insolubles ingérée. Pour chacune des matières premières, les modèles suivants ont été testés :

(1) EndoN (g/j) = a MSI (g/j) + b FI (g/j)
(2) EndoN (g/j) = a MSI (g/j) + b FI (g/j) + c PV (kg)
(3) EndoN (g/j) = a MSI (g/j) + b FI (g/j)/PV (kg)
(4) EndoN (g/j) = a MSI (g/j)/PV (kg) + b FI (g/j)

Où

EndoN = excrétion endogène totale d'azote (g/j)

MSI = matière sèche ingérée (g/j)

FI = fibre ingérée (g/j) (F = CB, NDF, ADF ou ADL)

PV = Poids vif de l'animal (kg)

Il s'agissait de tester :

- modèle 1 : l'augmentation linéaire de l'excrétion endogène spécifique d'azote avec la quantité de fibre ingérée et la proportionnalité de l'excrétion endogène basale à la quantité de matière sèche ingérée.
- modèle 2 : un effet linéaire du poids sur l'excrétion endogène d'azote
- modèle 3 : l'interaction entre le poids de l'animal et la quantité de fibre ingérée pour l'excrétion endogène spécifique d'azote, c'est-à-dire une diminution de l'effet des fibres sur l'excrétion endogène spécifique d'azote lorsque le poids des animaux augmente
- modèle 4 : l'interaction entre la quantité de matière sèche ingérée et le poids des animaux sur l'excrétion endogène basale d'azote, c'est-à-dire une diminution de l'excrétion endogène basale d'azote avec le poids des animaux.

Les résultats sont présentés au ***Tableau 53 (p 211)***. Pour aucune des matières premières, les modèles 2 et 4 ne donnent de résultats satisfaisants (*P>0.10*). Pour le seigle, l'orge, le sorgho et le tourteau de colza, aucun des modèles ne permet de prédire de façon satisfaisante l'excrétion endogène d'azote (*P>0.10*). Cela pourrait être dû à un nombre trop faible de lots testés ou encore à une estimation trop imprécise de l'excrétion endogène d'azote. Pour le triticale et le maïs, seul le modèle 3 permet de prédire l'excrétion endogène totale d'azote. Pour le blé et le tourteau de soja, les modèles 1 et 3 permettent de prédire l'excrétion endogène totale d'azote. Pour le tourteau de soja, le modèle 1, qui ne fait pas intervenir le poids des animaux, permet de maximiser le coefficient de détermination et de minimiser l'écart type résiduel.

Excepté pour le maïs (modèle 1), et pour le tourteau de soja (modèle 3), le coefficient affecté à MSI ne diffère pas significativement de 0.001145, valeur d'excrétion endogène basale moyenne que nous avons mesurée au moyen d'un aliment protéiprive (1.145 g N/kg MSI).

Les équations obtenues sont peu satisfaisantes en termes de prédiction, en particulier pour le triticale et le blé. De plus, elles comportent l'inconvénient de la confusion des effets du

poids et du lot de matière première. Par conséquent, les coefficients de régression pourraient être biaisés. Toutefois, elles tendent à valider les concepts d'excrétion azotée endogène basale et spécifique. Par ailleurs, sauf dans le cas du tourteau de soja, elles semblent montrer un moindre effet des fibres insolubles sur l'excrétion endogène spécifique d'azote lorsque le poids des animaux augmente.

C.2.2 - Conséquences

C.2.2.1 - Conséquences sur le concept d'excrétion azotée endogène basale

Les modèles précédents nous permettent d'examiner la validité du concept d'excrétion endogène basale et de son expression sur la base de la quantité de matière sèche ingérée, ainsi que la pertinence de sa détermination au moyen d'un aliment protéiprive.

La supériorité du modèle 3 par rapport au modèle 4 pour prédire l'excrétion endogène totale d'azote tend à prouver que l'interaction avec le poids vif porte davantage sur la quantité de fibres ingérée que sur la quantité de matière sèche ingérée. Autrement dit, l'excrétion endogène spécifique, plus que l'excrétion endogène basale serait affectée par le poids des animaux.

Dans la plupart des cas, le coefficient affecté à MSI, dans le modèle de prédiction de l'excrétion endogène totale, tend à valider la valeur d'excrétion endogène basale que nous avons mesurée au moyen d'un aliment protéiprive. Dans le cas du maïs, pour lequel le coefficient affecté à MSI est significativement supérieur à l'excrétion endogène basale mesurée au moyen d'un aliment protéiprive, d'autres composants que les fibres, de teneur peu variable d'un lot à l'autre au sein d'un même type de matière première, ou que nous n'avons pas déterminés, pourraient entraîner une excrétion azotée endogène spécifique. Il pourrait s'agir d'une qualité particulière d'amidon ou de protéine. Cette hypothèse est impossible à vérifier compte tenu du peu de variabilité du pourcentage d'incorporation des matières premières dans les aliments expérimentaux.

Il est donc probable que :

- le concept d'excrétion azotée endogène basale, proportionnelle à la quantité de matière sèche ingérée soit valide
- l'aliment protéiprive que nous avons utilisé permette d'évaluer de façon pertinente la valeur de l'excrétion azotée endogène basale. En particulier, conformément aux résultats de De Lange et al. (1989a), Leterme et al. (1992) et Furuya et Kaji (1992), la cellulose de papier présente dans l'aliment serait sans influence sur l'excrétion azotée endogène et la valeur obtenue correspondrait bien à une quantité de fibre ingérée nulle.
- l'effet du poids sur l'excrétion azotée endogène basale, mesurée par Hess et Sève (1999a) soit inférieur à son effet sur l'excrétion azotée endogène spécifique provoquée par les fibres insolubles, ceci, en partie, en raison de l'absence de fibres « actives » dans l'aliment protéiprive.

C.2.2.2 - Effet du poids des animaux sur la digestibilité iléale vraie

Compte tenu de l'effet du poids des animaux sur l'excrétion endogène spécifique d'azote, il convient d'en évaluer l'effet sur la digestibilité iléale vraie. Le traitement de nos données expérimentales, nous a conduit à conclure à un effet limité de ce paramètre sur la digestibilité iléale vraie des acides aminés ***(Partie II.III - , Partie II.IV - , Partie II.V - , Partie II.VI -)***. Cependant, bien que de faible amplitude, il existait pour le maïs. Par le calcul, nous avons évalué l'impact, sur la digestibilité iléale vraie, de la possible division par deux de l'excrétion azotée endogène spécifique (g/kg MS) entre 40 et 80 kg, à digestibilité réelle constante. A titre

d'exemple, les estimations obtenues pour la digestibilité iléale vraie de la lysine, de la thréonine et de la méthionine du blé et du maïs sont données ***Figure 23 (p 213).*** Les estimations obtenues pour le triticale et le seigle sont très similaires à celles qui sont obtenues pour le blé. Pour l'ensemble des céréales, l'augmentation de la digestibilité la plus importante est calculée pour la lysine, la thréonine et le tryptophane : ces acides aminés sont les plus abondants dans la protéine endogène, par rapport à la protéine alimentaire. La différence pourrait atteindre 7 points de digestibilité pour le blé et cinq points pour le maïs. Toutefois, elle n'est pas plus élevée que sa variabilité entre lots intra matières premières à un poids donné.

En définitive, pour des matières premières pauvres en protéines, et en particulier les céréales, on peut suspecter une augmentation de la digestibilité iléale vraie avec le poids de l'animal, dont l'amplitude serait d'autant plus élévée que l'acide aminé est abondant dans la protéine endogène endogène par rapport à la protéine alimentaire. Cette hypothèse est en accord avec les résultats de Bodin et al. (1998) qui ont détecté une augmentation significative de la digestibilité iléale vraie de la thréonine du maïs avec le vieillissement de l'anastomose.

C.3 - Excrétion azotée endogène spécifique liée à chaque type de matière première

C.3.1 - Un effet variable de la lignocellulose selon la matière première

Pour le seigle et l'orge, aucun des critères de fibre n'a permis de prédire l'excrétion endogène d'azote. Cependant, l'effet de l'ingestion d'ADF de seigle semble être assez similaire à celui de l'ingestion d'ADF de blé, de triticale ou de maïs. En revanche, l'ADF d'orge semble avoir un moindre effet sur l'excrétion endogène spécifique d'azote (***Figure 22, p 205***).

De Lange et al. (1990) et Taverner et al. (1981a) ont également observé une moindre excrétion endogène d'azote, par unité de fibre ingérée, avec de l'orge qu'avec du blé (respectivement 120 vs 169 g/kg CB ingéré et 15.6 vs 18.1 g N/kg NDF ingéré). Boisen et Moughan (1996) signalent le même phénomène.

Cette différence pourrait être liée à la proportion de lignine dans le résidu ADF d'orge comparée au blé, triticale et seigle (15 vs 28% ADF) ***(Tableau 9, p 69 à Tableau 12, p 72)***. La fibre de blé, triticale et seigle, pourrait alors avoir un effet mécanique plus prononcé que la fibre d'orge et entraîner une desquamation et des sécrétions de mucus plus intenses, et, par conséquent, des pertes endogènes plus élevées. Les capacités d'adsorption de la lignine (Bergner et al., 1981; Howard et al., 1986) pourraient également entraîner un moindre réabsorption des acides aminés d'origine endogène. Toutefois, la teneur en lignine, estimée par le critère ADL, ne permet pas de rendre compte de l'effet possible de ce composant sur l'excrétion endogène spécifique d'azote.

Concernant le tourteau de soja, l'absence d'effet du poids sur l'excrétion endogène spécifique pour cette matière première pourrait avoir pour origine un comportement particulier de la lignocellulose qu'elle contient. On peut également soupçonner la gamme de poids vifs utilisée pour tester cette matière première.

En termes de formulation, ces résultats suggèrent de raisonner non seulement en termes de teneur en ADF mais en plus en termes de types d'ADF. En particulier, il faudrait différencier trois types d'ADF : d'ADF « de type Blé », ADF « de type Orge» et ADF « de type tourteau de soja ».

C.3.2 - Comparaison des matières premières entre elles

Le calcul d'excrétion azotée endogène spécifique à partir des équations données au

Tableau 53 (p 211) repose sur les hypothèses suivantes :

1. L'excrétion endogène spécifique est bien proportionnelle à la quantité de matière première ingérée et les relations que nous avons établies pour les aliments sont valables pour les matières premières.
2. Pour chacune des matières premières, les équations peuvent être extrapolées sur une plage de variation de poids vif allant de 40 à 100 kg.
3. A l'appui des résultats de la comparaison avec les données de la littérature, nous avons supposé que le seigle se comporte comme le blé et le triticale

Toutes ces hypothèses, et en particulier la première, restent à vérifier. En effet, Taverner et al. (1981a), avec des aliments à base de blé ou d'orge, Sève et al. (1994b) avec des aliments à base de co-produits de meunerie ***(Figure 22, p 205)*** puis Mariscal-Landin et al. (1995), avec des aliments protéiprives ***(Tableau 5, p 41 et Figure 9, p 40)***, ont montré que l'excrétion endogène d'azote (g/kg MS) cesse d'augmenter lorsque le taux de fibre dans l'aliment excède respectivement 100, 200 et 70 g NDF/kg MS. Toutefois, dans la première étude (Taverner et al., 1981a), le niveau alimentaire augmentait avec le taux d'incorporation de fibres et a pu conduire à une limitation de l'excrétion endogène d'azote à taux de fibre élevé. Par ailleurs, Schulze et al. (1995b), avec des niveaux alimentaires indépendants du taux de fibre dans l'aliment, n'ont pas observé ce plateau, même avec des taux de fibres proches de 200 g NDF/kg MS ***(Tableau 5, p 41 et Figure 10, p 41)***. De plus, nos lots de tourteaux de colza semblent contredire cette hypothèse d'un plafonnement de l'excrétion endogène d'azote avec l'augmentation du taux de fibres dans l'aliment ***(Figure 22, p 205)***.

La ***Figure 24 (p 214)*** donne, pour trois catégories de poids vif (40, 60 et 80 kg), l'excrétion endogène spécifique d'azote (g/kg MSI) en fonction de la teneur en ADF de la matière première. Les plages de variation de la teneur en ADF des matières premières correspondent à nos échantillons. L'excrétion endogène spécifique d'N a été calculée à partir du modèle 1, pour le tourteau de soja, et du modèle 3, pour les céréales ***(Tableau 53, p 211***). Plus la matière première est riche en ADF, plus l'excrétion endogène spécifique d'azote (g/kg MS) est élevée. L'excrétion endogène d'azote la plus faible est calculée pour les céréales. Le tourteau de soja, conduit aux valeurs les plus élevées. Pour les céréales, plus l'animal est jeune, plus les variabilités intra et entre matières premières sont élevées.

D - CONCLUSION

Les fibres insolubles, et en particulier la ligno-cellulose semblent être un facteur important de variation de l'utilisation digestive des acides aminés des matières premières. Cependant, la caractérisation analytique de nos lots de matières premières ne nous a pas permis d'expliquer en totalité cette variabilité.

Notre étude permet d'apporter des éléments de quantification de l'excrétion endogène spécifique d'azote par type de matière première, dans l'attente de l'obtention de résultats fiables, par marquage de l'animal ou de l'aliment, sur un grand nombre de matières premières. De même, les relations que nous obtenons entre la teneur en ADF des matières premières et, éventuellement le poids de l'animal, doivent être considérées avec précautions et méritent d'être vérifiées. En particulier l'interaction entre la teneur en ADF et le poids de l'animal doit être validée, et, le cas échéant, son impact sur la digestibilité iléale vraie doit être quantifié. A cet égard, les matières premières assez riches en

fibres et assez pauvres en protéines (avoine, co-produits de meunerie) pourraient constituer des modèles intéressants. Toutefois, en dépit de ses imprécisions, ce travail, et en particulier l'étude sur l'excrétion endogène spécifique d'azote, tend à valider les concepts d'excrétion endogène spécifique et basale d'azote, et, par conséquent, le concept de digestibilité vraie.

Figure 21 : relation entre la teneur en NNDF (g/kg MS) et la teneur en N (g/kg MS) selon le type de matière première

W : Blé (Wheat) ; **T** : Triticale ; **R** : Seigle (Rye) ; **B** : Orge (Barley) ; **M** : Maïs ; **S** : Sorgho ; **WM** : Farine basse de blé (Wheat middlings) ; **WF** : Remoulage de blé (Wheat Feed) ; **WB** : Son de blé (Wheat bran) ; **MGF** : Corn gluten feed (Maize Gluten Feed)

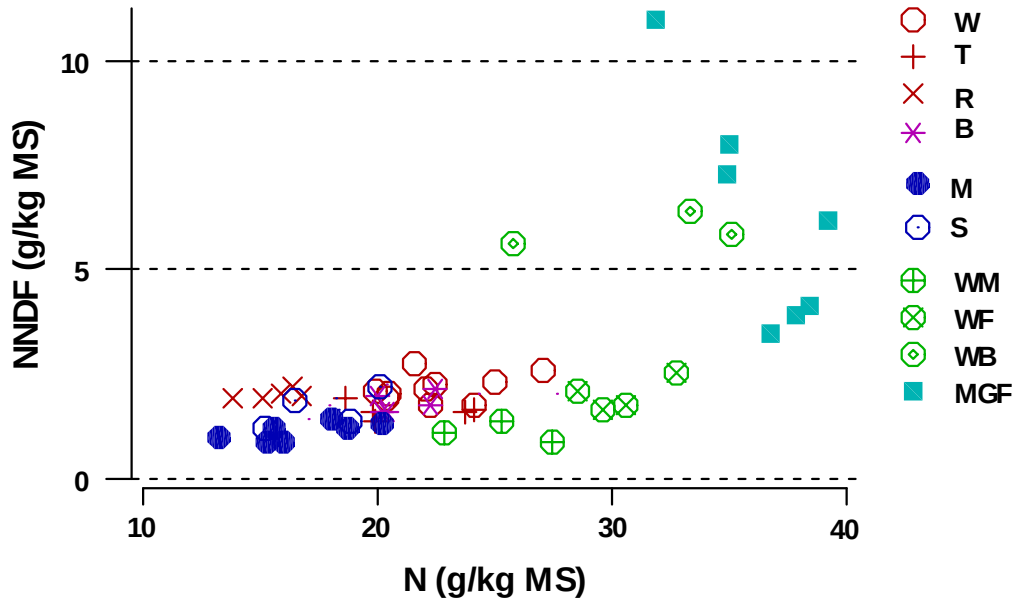


Figure 22 : Excrétion endogène totale d'azote selon le type de matière première et la teneur de l'aliment expérimental en fibres insolubles – comparaison des critères analytiques (CB, NDF, ADF ou ADL) et confrontation avec les données de la littérature

(voir Tableau 52, p 209)

a : De Lange et al. (1990) (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant plus de 35 kg) ; **b : Sève et al. (1994b)** (régression linéaire multiple, animaux pesant plus de 35 kg) ; **c : Lechevestrier (1996)** (régression linéaire multiple, animaux pesant plus de 35 kg) ; **d : Grala et al. (1997)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **e : Grala et al. (1998a)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **f : Makkink et al. (1997)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **g : Grala et al. (1999)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **h : Hess et Sève (1999b)** (dilution isotopique, marquage de la matière première à l'^{15}N, animaux pesant plus de 35 kg) ; **i : Yin et al. (2000)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 30 kg)

W : Blé (Wheat) ; **T** : Triticale ; **R** : Seigle (Rye) ; **B** : Orge (Barley) ; **M** : Mais ; **S** : Sorgho ; **RSM** : Tourteau de colza (Rapeseed meal) ; **SBM** : Tourteau de soja (Soybean meal) ; **WM** : farine basse de blé (Wheat middlings) ; **WF** : remoulage de blé (Wheat Feed) ; **WB** : Son de blé (Wheat bran) ; **W+WF** : aliment à base de blé et de remoulage de blé ; **W+WB** : aliment à base de blé et de son de blé

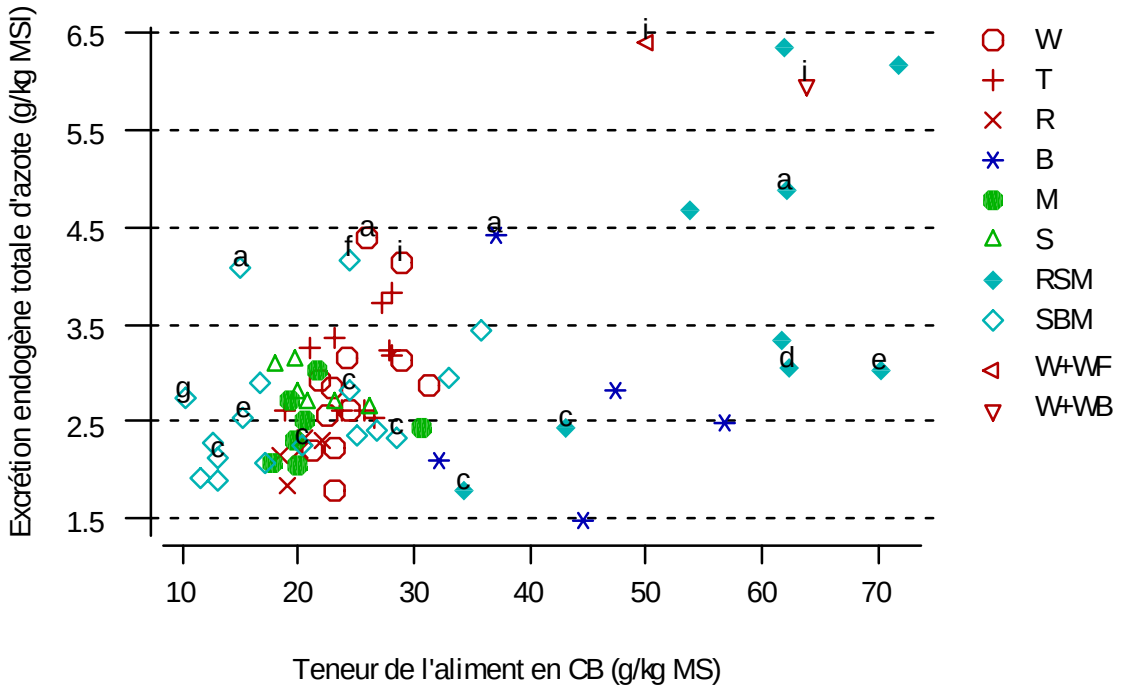


Figure 22 : Excrétion endogène totale d'azote selon le type de matière première et la teneur de l'aliment expérimental en fibres insolubles – comparaison des critères analytiques (CB, NDF, ADF ou ADL) et confrontation avec les données de la littérature(suite)

(voir Tableau 52, p 209)

a : De Lange et al. (1990) (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant plus de 35 kg) ; **b : Sève et al. (1994b)** (régression linéaire multiple, animaux pesant plus de 35 kg) ; **c : Lechevestrier (1996)** (régression linéaire multiple, animaux pesant plus de 35 kg) ; **d : Grala et al. (1997)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **e : Grala et al. (1998a)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **f : Makkink et al. (1997)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **g : Grala et al. (1999)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **h : Hess et Sève (1999b)** (dilution isotopique, marquage de la matière première à l'^{15}N, animaux pesant plus de 35 kg) ; **i : Yin et al. (2000)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 30 kg)

W : Blé (Wheat) ; **T** : Triticale ; **R** : Seigle (Rye) ; **B** : Orge (Barley) ; **M** : Mais ; **S** : Sorgho ; **RSM** : Tourteau de colza (Rapeseed meal) ; **SBM** : Tourteau de soja (Soybean meal) ; **WM** : farine basse de blé (Wheat middlings) ; **WF** : remoulage de blé (Wheat Feed) ; **WB** : Son de blé (Wheat bran) ; **W+WF** : aliment à base de blé et de remoulage de blé ; **W+WB** : aliment à base de blé et de son de blé

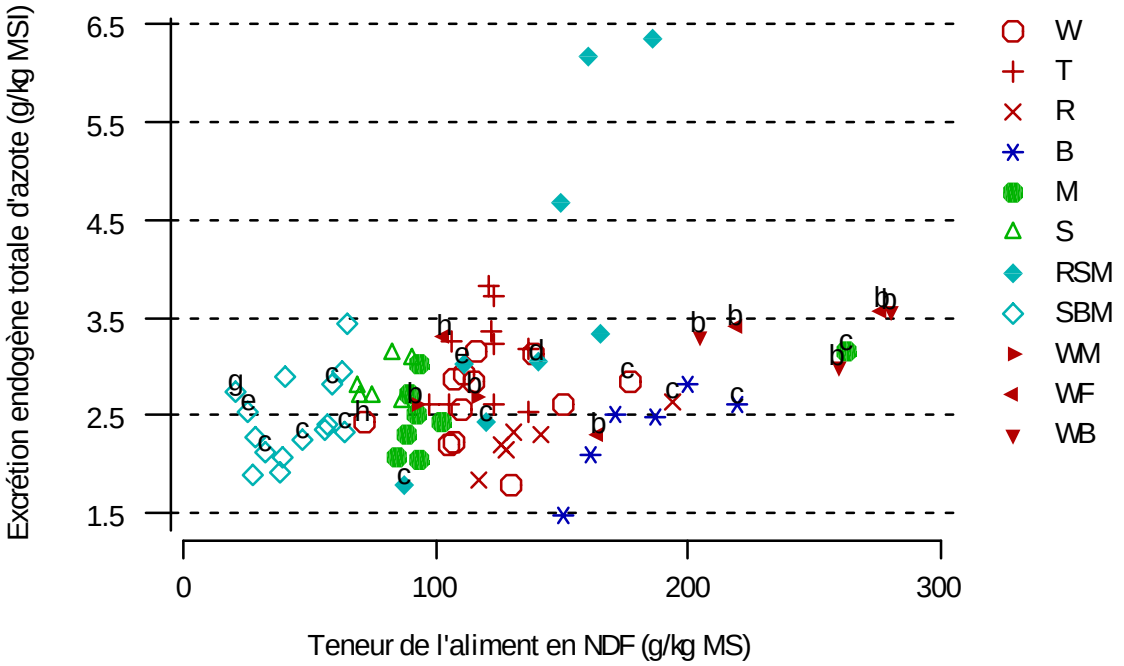


Figure 22 : Excrétion endogène totale d'azote selon le type de matière première et la teneur de l'aliment expérimental en fibres insolubles – comparaison des critères analytiques (CB, NDF, ADF ou ADL) et confrontation avec les données de la littérature(suite)

(voir Tableau 52, p 209)

a : De Lange et al. (1990) (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant plus de 35 kg) ; **b : Sève et al. (1994b)** (régression linéaire multiple, animaux pesant plus de 35 kg) ; **c : Lechevestrier (1996)** (régression linéaire multiple, animaux pesant plus de 35 kg) ; **d : Grala et al. (1997)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **e : Grala et al. (1998a)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **f : Makkink et al. (1997)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **g : Grala et al. (1999)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **h : Hess et Sève (1999b)** (dilution isotopique, marquage de la matière première à l'^{15}N, animaux pesant plus de 35 kg) ; **i : Yin et al. (2000)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 30 kg)

W : Blé (Wheat) ; **T** : Triticale ; **R** : Seigle (Rye) ; **B** : Orge (Barley) ; **M** : Mais ; **S** : Sorgho ; **RSM** : Tourteau de colza (Rapeseed meal) ; **SBM** : Tourteau de soja (Soybean meal) ; **WM** : farine basse de blé (Wheat middlings) ; **WF** : remoulage de blé (Wheat Feed) ; **WB** : Son de blé (Wheat bran) ; **W+WF** : aliment à base de blé et de remoulage de blé ; **W+WB** : aliment à base de blé et de son de blé

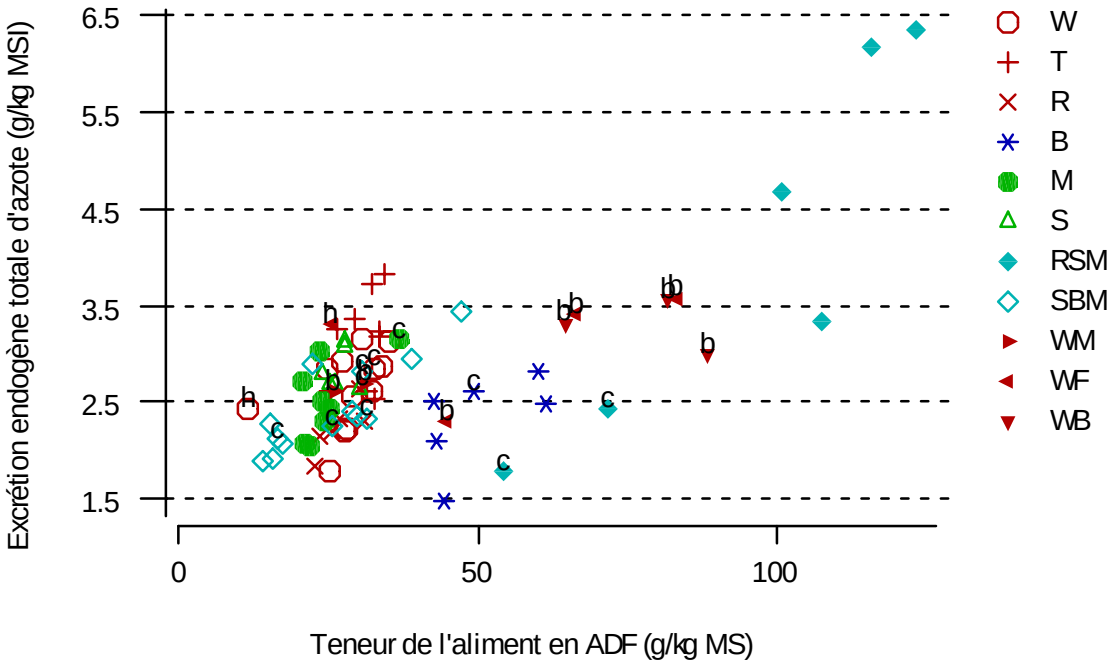


Figure 22 : Excrétion endogène totale d'azote selon le type de matière première et la teneur de l'aliment expérimental en fibres insolubles – comparaison des critères analytiques (CB, NDF, ADF ou ADL) et confrontation avec les données de la littérature(suite)

(voir Tableau 52, p 209)

a : De Lange et al. (1990) (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant plus de 35 kg) ; **b : Sève et al. (1994b)** (régression linéaire multiple, animaux pesant plus de 35 kg) ; **c : Lechevestrier (1996)** (régression linéaire multiple, animaux pesant plus de 35 kg) ; **d : Grala et al. (1997)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **e : Grala et al. (1998a)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **f : Makkink et al. (1997)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **g : Grala et al. (1999)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **h : Hess et Sève (1999b)** (dilution isotopique, marquage de la matière première à l'^{15}N, animaux pesant plus de 35 kg) ; **i : Yin et al. (2000)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 30 kg)

W : Blé (Wheat) ; **T** : Triticale ; **R** : Seigle (Rye) ; **B** : Orge (Barley) ; **M** : Mais ; **S** : Sorgho ; **RSM** : Tourteau de colza (Rapeseed meal) ; **SBM** : Tourteau de soja (Soybean meal) ; **WM** : farine basse de blé (Wheat middlings) ; **WF** : remoulage de blé (Wheat Feed) ; **WB** : Son de blé (Wheat bran) ; **W+WF** : aliment à base de blé et de remoulage de blé ; **W+WB** : aliment à base de blé et de son de blé

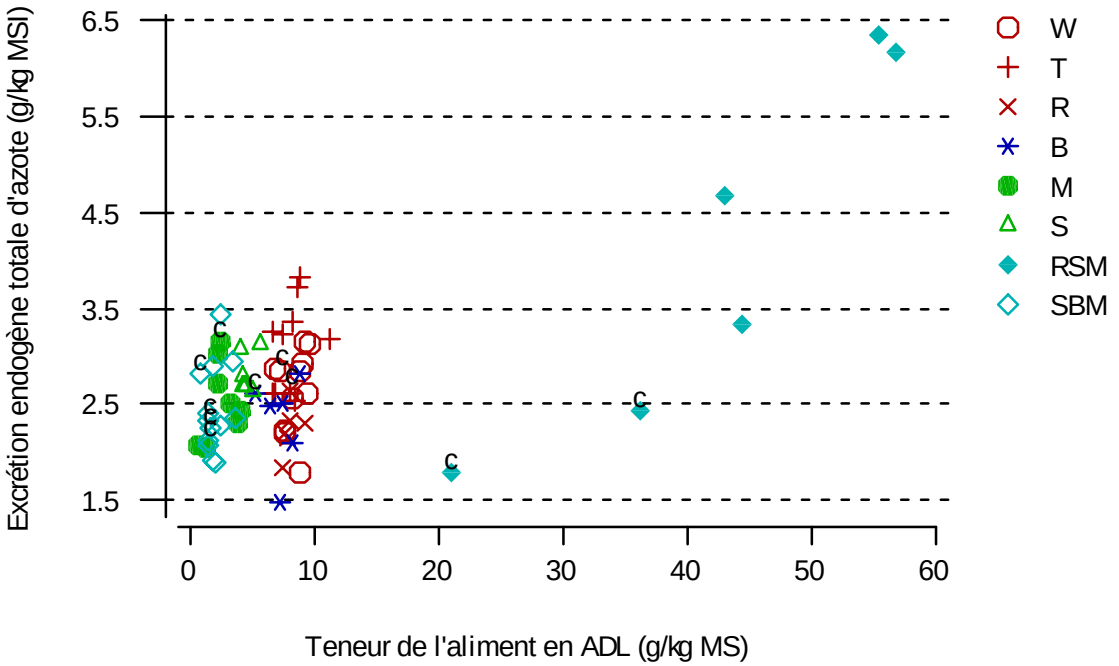


Tableau 52: Coefficient de corrélation entre l'excrétion endogène d'azote (g/kg MSI) et la teneur en fibres insolubles de l'aliment expérimental (g/kg MS) – comparaison des critères analytiques et confrontation avec les données de la littérature

(voir Figure 22, p 205)

Mat. Prem.[1]	Références[2]	n[3]	CB	P[4]	NDF	P	ADF	P	ADL	P
Blé	**c h j**	12					0.43	NS		
Blé	**c j**	11					0.58	0.06		
Blé	**h**	10	0.46	NS	0.06	NS	0.56	0.09	0.33	NS
Triticale	**h**	10	0.39	NS	0.18	NS	0.47	NS	0.32	NS
Seigle	**c j**	6			0.88	*	0.82	*		
Seigle	**j**	5	0.63	NS	0.83	0.08	0.75	NS	0.63	NS
Orge	**c j**	6			0.81	*	0.57	NS		
Orge	**j**	5	0.36	NS	0.91	*	0.60	NS	0.31	NS
Maïs	**j**	7	0.18	NS	0.20	NS	0.21	NS	0.31	NS
Sorgho	**j**	6	-0.74	NS	0.52	NS	0.16	NS	0.26	NS
T. Colza	**a c d e j**	9	0.61	0.08						
T. Colza	**c d e j**	8			0.83	*				
T. Colza	**c j**	6	0.85	*	0.84	*	0.90	*	0.92	**
T. Colza	**j**	4	0.46	NS	0.41	NS	0.75	NS	0.88	NS
T. Soja	**a c e f g j**	17	0.34	NS						
T. Soja	**c e g j**	15	0.62	*	0.45	0.09				
T. Soja	**c j**	13	0.75	**	0.66	*	0.84	***		
T. Soja	**j**	9	0.79	*	0.71	*	0.87	***	0.35	NS

[1] matière première

[2] **a : De Lange et al. (1990)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant plus de 35 kg) ; **b : Sève et al. (1994b)** (régression linéaire multiple, animaux pesant plus de 35 kg) ; **c : Lechevestrier (1996)** (régression linéaire multiple, animaux pesant plus de 35 kg) ; **d : Grala et al. (1997)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **e : Grala et al. (1998a)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **f : Makkink et al. (1997)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **g : Grala et al. (1999)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 20 kg) ; **h : Hess et Sève (1999b)** (dilution isotopique, marquage de la matière première à l'^{15}N, animaux pesant plus de 35 kg) ; **i : Yin et al. (2000)** (dilution isotopique, marquage de l'animal à l'^{15}N, animaux pesant moins de 30 kg) **; j** : nos données

[3] nombre d'échantillons

[4] NS: $P>0.10$; *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$

Tableau 53 : Excrétion endogène totale d'azote (g/j) en fonction de la quantité de matière sèche ingérée et de fibre insoluble ingérée (g/j) ou en fonction de la quantité de matière sèche ingérée (g/j) et la quantité de fibre ingérée (g/j) par unité de poids vif (kg)

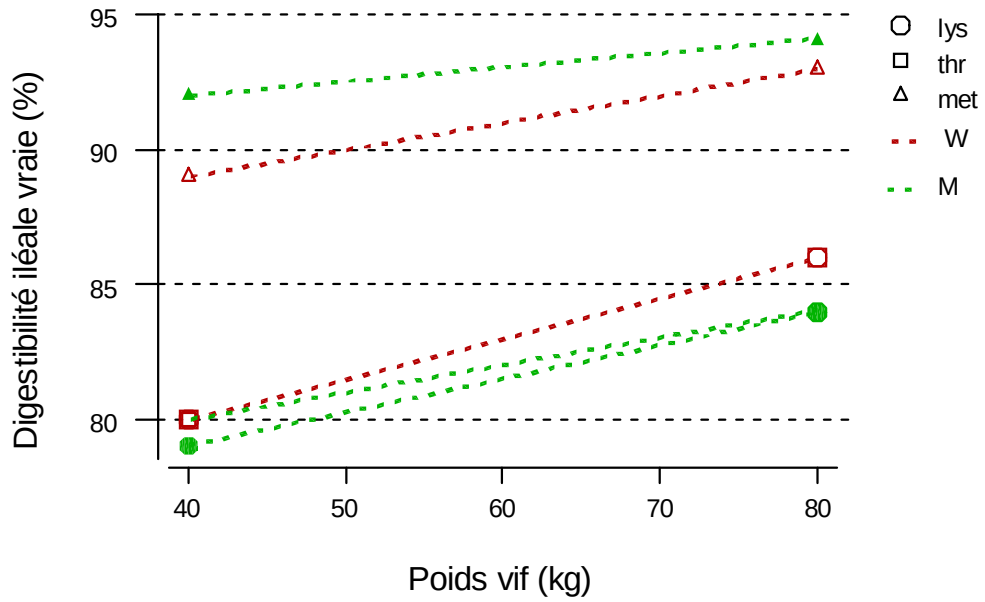
Blé	**n=39**															
Modèle 1																
MSI[1]	**et[4]**	**P[5]**	**CB[2]**	**et**	**P**	**NDF[2]**	**et**	**P**	**ADF[2]**	**et**	**P**	**ADL[2]**	**et**	**P**	**R²[6]**	**etr[7]**	**cvr[8]**
0.00119	0.00062	0.06	0.0573	0.0251	*										21	0.788	20.5
0.000665	0.000701	NS							0.0654	0.0235	**				24	0.766	19.9
Modèle 3																
MSI	**et**	**P**	**CB/PV[3]**	**et**	**P**	**NDF/PV[3]**	**et**	**P**	**ADF/PV[3]**	**et**	**P**	**ADL/PV[3]**	**et**	**P**	**R²**	**etr**	**cvr**
0.00115	0.00049	*	3.32	1.10	**										27	0.755	19.6
0.00115	0.00049	*							2.75	0.91	**				26	0.754	19.6
Triticale	**n=38**															
Modèle 3																
MSI	**et**	**P**	**CB/PV**	**et**	**P**	**NDF/PV**	**et**	**P**	**ADF/PV**	**et**	**P**	**ADL/PV**	**et**	**P**	**R²**	**etr**	**cvr**
0.00169	0.00037	***	2.46	0.65	**										17	0.638	16.7
0.00165	0.00036	***							2.08	0.52	***				20	0.628	16.5
Maïs	**n=24**															
Modèle 3																
MSI	**et**	**P**	**CB/PV**	**et**	**P**	**NDF/PV**	**et**	**P**	**ADF/PV**	**et**	**P**	**ADL/PV**	**et**	**P**	**R²**	**etr**	
0.00173	0.00025	***	2.03	0.83	*										53	0.689	16.2
0.00171	0.00029	***				0.490	0.224	*							51	0.704	16.6
0.00165	0.00029	***							2.17	0.90	*				52	0.692	16.3
0.00193	0.00016	***										11.90	4.20	*	56	0.665	15.7
SBM	**n=34**															
Modèle 1																
MSI	**et**	**P**	**CB**	**et**	**P**	**NDF**	**et**	**P**	**ADF**	**et**	**P**	**ADL**	**et**	**P**	**R²**	**etr**	**cvr**
0.00148	0.00021	***	0.0440	0.0091	***										66	0.692	17.9
0.00128	0.00029	***				0.0246	0.0062	***							60	0.745	19.3
0.00145	0.00017	***							0.0389	0.0064	***				73	0.621	16.1
0.00190	0.00028	***										0.250	0.129	0.06	47	0.861	22.3
Modèle 3																
MSI	**et**	**P**	**CB/PV**	**et**	**P**	**NDF/PV**	**et**	**P**	**ADF/PV**	**et**	**P**	**ADL/PV**	**et**	**P**	**R²**	**etr**	**cvr**
0.00184	0.00017	***	1.72	0.44	***										60	0.751	19.4
0.00183	0.00021	***				0.798	0.267	**							54	0.804	20.8
0.00183	0.00015	***							1.47	0.34	***				63	0.719	18.6

[1] Quantité de matière sèche ingérée (g/j) ; [2] quantité de fibre (CB, NDF, ADF ou ADL) ingérée (g/j) ; [3] Quantité de fibre (CB, NDF, ADF ou ADL) ingérée (g/j) par unité de poids vif (kg)

[4] écart type ; [5] NS: *P*>0.10; *: *P*<0.05; **: P<0.01; ***: *P*<0.001; [6] coefficient de détermination; [7] écart type résiduel ; [8] coefficient de variation résiduelle (%)

Domaines de validité
Blé : (kg) 44<PV<71 – (g/j) 1263<MSI<1754 ; 28.6<CB<55.5 ; 31.6<ADF<60.0 – (g/kg PV) 0.47<CB/PV<0.88 ; 0.61<ADF/PV<1.06
Triticale : (kg) 33<PV<61 – (g/j) 1027<MSI<1503 ; 22.0<CB<40.0 ; 28.1<ADF<49.4 – (g/kg PV) 0.46<CB/PV<0.94 ; 0.61<ADF/PV<1.15
Maïs : (kg) 36<PV<99 – (g/j) 1123<MSI<2305 ; 22.7<CB<64.9 ; 104.2<NDF<218.4 ; 24.4<ADF<53.9 ; 1.45<ADL<8.45– (g/kg PV) 0.43<CB/PV<0.80 ; 2.06<NDF/PV<2.90 ; 0.50<ADF/PV<0.74 ; 0.018<ADL/PV<0.104
T. soja : (kg) 35<PV<100 – (g/j) 1083<MSI<2278 ; 15.2<CB<67.8 ; 37.9<NDF<123.0 ; 19.3<ADF<82.8 ; 2.36<ADL<4.84– (g/kg PV) 0.29<CB/PV<1.02 ; 0.72<NDF/PV<1.95 ; 0.36<ADF/PV<1.34 ; 0.031<ADL/PV<1.109

Figure 23 : Estimation de l'impact du poids des animaux sur la digestibilité iléale vraie des acides aminés du blé (W) et du maïs (M)

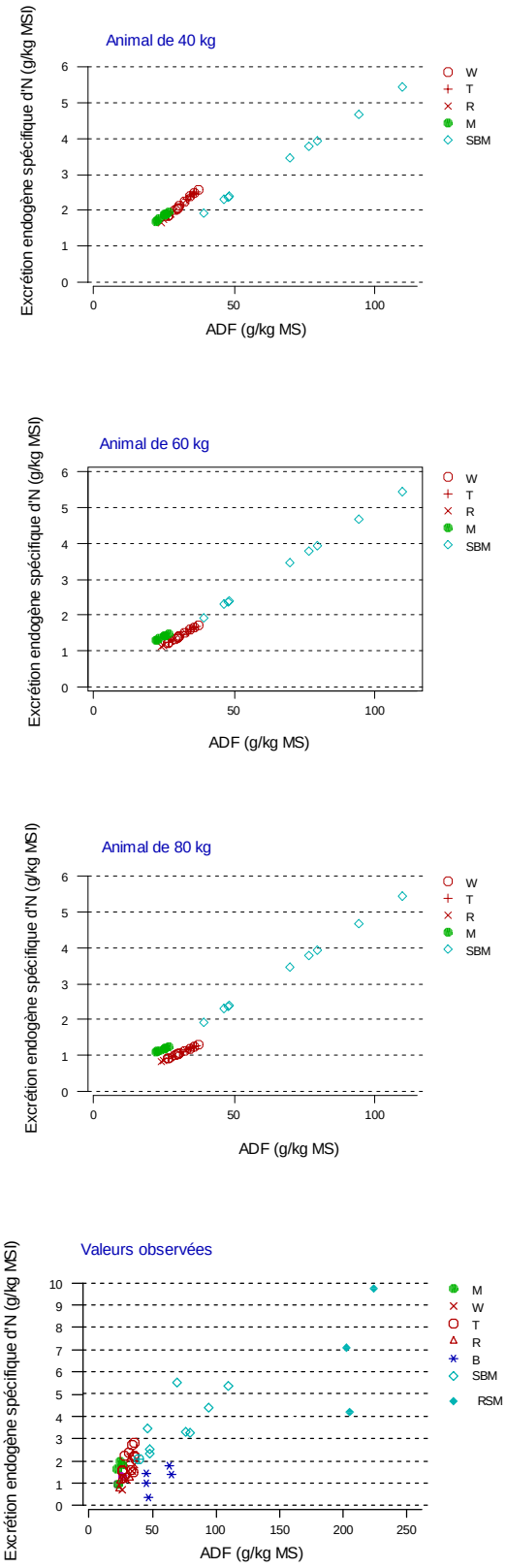


La digestibilité iléale vraie de chacun des lots de matière première est calculée comme la digestibilité iléale réelle de laquelle est soustraite l'excrétion endogène spécifique (g/kg MS), multipliée par 100, et divisée par la teneur en acides aminés totaux de la matière première (g/kg MS). L'excrétion endogène spécifique est calculée en fonction du poids vif de l'animal et la teneur en ADF du lot, comme indiqué au ***Tableau 53 (p 211)***.

Figure 24 : Excrétion endogène spécifique d'azote (g/kg MSI)[1] en fonction de la teneur en ADF de la matière première (g/kg MS)

[1] calculée à partir des équations données au ***Tableau 53 (p 211)***

M : Maïs, **W** : Blé (Wheat), **T** : Triticale, **R** : Seigle (Rye), **B** : Orge (Barley), **SBM** : T. soja (Soybean Meal), **RSM** : T. colza (Rapeseed Meal)



III - Approcher la disponibilité des acides aminés matières premières

Les travaux présentés dans ce document, ont pour objectif de fournir au formulateur des données lui permettant d'estimer les teneurs en acides aminés disponibles des matières premières. En première approche, la digestibilité iléale vraie peut être considérée comme une estimation de la disponibilité. Les pertes endogènes basales sont alors considérées comme des besoins pour l'animal. Toutefois, les résultats de Batterham et al. (1990, 1993) et van Barneveld et al. (1994) suggèrent que pour des protéines ayant subi un traitement thermique sévère, la digestibilité vraie de la thréonine, de la méthionine mais surtout de la lysine surestime sa disponibilité.

Par ailleurs, des travaux récents permettent de mettre en évidence que les pertes endogènes spécifiques d'acides aminés constituent un autre facteur d'indisponibilité des acides aminés vraiment digestibles.

A - LES PERTES ENDOGENES SPECIFIQUES, FACTEURS D'INEFFICACITE DE L'UTILISATION DES ACIDES AMINES DIGESTIBLES REELS POUR LA RETENTION CORPORELLE

A.1 - Pertes azotées endogènes et rétention azotée

Les synthèses de Souffrant (1991), Sève et Henry (1996) et Nyachoti et al. (1997) font état de l'inefficacité de l'utilisation des acides aminés apportés par la matière première pour des synthèses corporelles, lorsque les pertes endogènes spécifiques sont accrues. En effet, selon Souffrant et al. (1993) et Krawielitski et al. (1990, 1996), environ 75% des sécrétions endogènes sont réabsorbées avant la fin de l'iléon, conduisant à un processus métabolique de resynthèse d'autant plus élevé que les pertes endogènes le sont, et à de possibles déséquilibres de la protéine alimentaire. Comme l'indique Huisman (1993), ces deux phénomènes contribuent à une excrétion accrue d'azote via l'urine et donc à une moindre rétention azotée.

Les bilans azotés effectués par Grala et al. (1997, 1998a, 1999), Hess (1999) et Hess et al. (2000), non seulement corroborent cette hypothèse, mais permettent de calculer que l'efficacité d'utilisation de l'azote réellement digestible pour les synthèses corporelles (Kb) se situe entre 0.80 et 0.88 et entre 0.40 et 0.60 pour les pertes azotées endogènes (Ke) ***(Tableau 3, p 17 et Figure 3, p 17)***. Ces résultats laissent supposer la supériorité d'un système de formulation fondé sur la prise en compte du coût métabolique associé aux pertes endogènes spécifiques d'azote, plutôt que sur la digestibilité vraie, qui ne permet pas de distinguer l'indigestible alimentaire de l'excrété d'origine endogène spécifique.

A.2 - Un critère de disponibilité des acides aminés

Compte tenu de ces résultats, Sève et Hess (2000) proposent le calcul d'un coefficient, dit de disponibilité, permettant de prendre en compte les coûts métaboliques associés aux pertes endogènes d'azote. L'utilisation de la digestibilité iléale vraie requiert de comptabiliser les pertes endogènes basales (**N endob**) dans les besoins des animaux. Selon le même principe, la disponibilité vraie requiert de considérer les pertes endogènes basale, ainsi que les coûts métaboliques qui leurs sont associés (**N endob/Ke**) comme un besoin pour l'animal. La disponibilité vraie peut être calculée comme suit :

N Dispo v = N Dig r – N endospé/Ke

Or, N Dig r = N Dig v + N endospé. Donc, N Dispo v peut être calculé à partir de la teneur en N digestible vrai :

N Dispo v = N Dig v – N endospé (1/Ke-1)

Ou

Dispo v = Dig v- N endo spé (1/Ke-1)/N tot

Avec :

N Dispo v : N disponible vrai (g/kg MS)

N Dig r : N réellement digestible (g/kg MS)

N Dig v : N vraiment digestible (g/kg MS)

N endospé : Excrétion endogène spécifique d'azote (g/kg MS)

Ke : efficacité d'utilisation de l'azote réellement digestible pour l'excrétion endogène d'azote

Dispo v : Disponibilité vraie

Dig v : Digestibilité vraie

N tot : teneur en N de la matière première (ou de l'aliment) (g/kg MS)

B - FORMULATION SUR LA BASE DE LA DISPONIBILITE VRAIE

B.1 - Limites

B.1.1 - Estimation du coefficient Ke

Hess et al. (2000) émettent l'hypothèse que le coût métabolique associé aux pertes endogènes est constant. Cependant, selon Grala et al. (1998b), le taux de réabsorption des sécrétions endogènes pourrait varier de 50 à 75%, selon le type de matière première ingérée. Par ailleurs, Grala et al. (1999) ne trouvent aucune relation entre la rétention azotée et l'excrétion azotée endogène, lorsqu'elle est due à une augmentation du taux de fibres dans l'aliment. Dans l'hypothèse où l'apport protéique était le premier facteur limitant, ces résultats semblent montrer que le coefficient Ke pourrait varier.

Par ailleurs, le coefficient Ke, tel qu'il a été calculé par Hess (1999) puis Hess et al. (2000), est indissociable du premier facteur limitant dans la ration, soit, pour ces expériences, la thréonine. Rien ne prouve que Ke est indépendant du premier acide aminé limitant.

De plus, les mesures ont porté sur les pertes endogènes au niveau iléal. Bien qu'elles puissent être aussi importantes qu'au niveau iléal (Fuller et Reeds, 1998), les pertes endogènes dans le gros intestin pour différents types de matières premières n'ont pas été quantifiées et leur coût métabolique n'a pas été évalué.

B.1.2 - Additivité

Comme la formulation sur la base des acides aminés digestibles vrais, la formulation sur la base des acides aminés disponibles vrais suppose que l'aliment constitue un ensemble dans lequel les caractéristiques des matières premières sont additives. Affecter à une matière première des pertes endogènes spécifiques plutôt que totales a pour but d'aboutir à un système additif. Toutefois, la proportionnalité entre la quantité de matière première dans l'aliment expérimental et l'excrétion endogène spécifique d'azote n'est pas prouvée. En particulier, le plafonnement de l'excrétion endogène d'acides aminés (g/kg MSI) au delà d'un seuil de teneur en fibres insolubles de l'aliment (Taverner et al., 1981a ; Sève et al., 1994b ; Mariscal-Landin et al., 1995) ***(Partie III.II - C.3.2 - p 201)*** pourrait être une cause de non additivité des données d'excrétion endogène spécifique, et, par conséquent, des teneurs en acides aminés digestibles ou disponibles vrais. Par ailleurs, rien ne prouve l'absence d'interactions digestives, que nous devons négliger, dans l'état actuel des connaissances.

B.2 - Hiérarchie des matières premières

L'objet est ici de comparer la hiérarchie des matières premières, selon les systèmes digestibilité vraie et disponibilité vraie. En d'autres termes, il s'agit d'évaluer l'impact de la prise en compte des coûts associés aux pertes endogènes spécifiques d'azote sur la hiérarchie des matières premières. Pour effectuer ce calcul, nous avons attribué la valeur 0.5 au coefficient Ke, quelle que soit la matière première. Les valeurs présentées correspondent au valeurs moyennes obtenues à partir de nos observations, sans considération du possible effet du poids des animaux sur l'excrétion endogène spécifique d'azote ***(Partie III.II - C.2 - , p 198)***.

Au ***Tableau 54 (p 218)*** est présenté, pour chaque matière première, le pourcentage moyen d'acides aminés réellement digestibles utilisé pour l'excrétion endogène spécifique d'azote. Pour les céréales, la lysine et la thréonine, ainsi que le tryptophane sont parmi les acides aminés dont la plus grande part est utilisée pour l'excrétion endogène spécifique. Selon l'espèce végétale, 14 à 36% de la lysine, 14 à 26% de la thréonine et 12 à 32% du tryptophane réellement digestibles sont utilisés pour l'excrétion endogène spécifique d'azote. Pour le tourteau de soja, 8-9% de la thréonine, de la méthionine et du tryptophane digestibles réels dont utilisés pour les pertes endogènes spécifiques.

Les valeurs moyennes de digestibilité vraie sont rappelées au ***Tableau 55 (p 220)*** et les valeurs moyennes de disponibilité vraie sont données au ***Tableau 56 (p 220)***. La hiérarchie des matières premières n'est pas fondamentalement modifiée. En revanche, la prise en compte du coût métabolique associé aux pertes endogènes spécifiques d'acides aminés accentue l'écart entre le tourteau de soja et les céréales ***(Figure 25, p 219)***. L'autre point notable est la modification de la place prise par l'orge au sein des céréales. Ses acides aminés sont moins digestibles que ceux du blé, du triticale et du maïs. En revanche, en raison des pertes endogènes relativement faibles qu'elle occasionne, elle présente des valeurs de disponibilité vraie équivalentes à celles de ces autres céréales.

Bien qu'ils constituent encore une approximation, ces calculs suggèrent que l'utilisation de matières premières occasionnant des pertes endogènes spécifiques importantes, doit s'accompagner d'une supplémentation en acides aminés industriels, et en particulier en thréonine. A cet égard, on peut supposer, compte tenu des résultats de De Lange et al. (1989a), que l'excrétion endogène spécifique générée par les acides aminés libres additionnés à la ration est quasiment nulle. Par ailleurs, leur digestibilité réelle peut être raisonnablement considérée comme proche de 100%.

C - CONCLUSION

Les travaux récents ont permis de suggérer la faible efficacité de l'utilisation de la protéine digestible réelle pour la production de protéine endogène et justifier la prise en compte du critère de disponibilité vraie, pour estimer la valeur alimentaire des matières premières. Les travaux que nous avons menés portent sur l'évaluation des matières premières. Ils suggèrent une modification de la hiérarchie des matières premières par la prise en compte des coûts métaboliques liés à l'excrétion endogène spécifique d'azote. Par ailleurs, si la relation entre le poids des animaux et l'excrétion endogène spécifique due aux fibres insolubles était confirmée, les matières premières riches en fibres insolubles (sons, tourteaux de colza, tourteau de tournesol) devraient faire l'objet d'une attention particulière, surtout chez les animaux jeunes.

Tableau 54 : Excrétion endogène spécifique d'acides aminés et coûts associés en pourcentage de la teneur en acides aminés digestibles réels – valeur moyenne par type de matière première

Valeurs calculées à partir de nos observations (avec Ke = 0.5)

	Blé	Triticale	Seigle	Orge	Maïs	Sorgho	T. Soja	T. Colza
N	15	22	17	13	17	22	9	30
ΣAA [1]	11	15	11	9	11	14	6	21
ΣAAI [1]	12	17	12	9	11	15	6	20
Lys	19	24	16	14	21	36	6	23
Thr	20	26	19	14	18	26	9	26
Met	12	15	11	8	9	14	8	16
Cys	11	14	10	9	12	21	10	21
Trp	15	22	17	12	32	24	8	27
Arg	9	12	8	7	11	17	3	14
His	8	12	9	7	8	13	4	14
Ile	12	19	13	10	13	16	6	21
Leu	10	15	12	8	6	7	6	19
Phe	8	13	9	6	8	11	4	18
Tyr	11	16	13	8	9	11	4	20
Val	15	19	14	10	13	18	8	24
ΣAA NI [1]	9	13	9	8	11	14	6	22
Ala	20	23	16	15	9	11	10	28
Asp	17	21	13	14	16	20	5	27
Glu	4	6	5	4	7	8	4	13
Gly	23	30	22	18	28	43	14	35
Ser	12	17	13	10	12	18	6	25

[1] ΣAA : somme des acides aminés ; ΣAA I : somme des acides aminés indispensables et semi indispensables ; ΣAA NI : somme des acides aminés non indispensables

Figure 25 : Digestibilité vraie et disponibilité vraie de la lysine et de la thréonine de diverses matières premières

Dispo v (%) = Dig v (%) - N endospé x 100 (1/Ke-1)/N tot (avec Ke = 0.5)

SBM : T. soja (Soybean Meal), **W** : Blé (Wheat), **T** : Triticale, **M** : Maïs, **S** : Sorgho , **B** : Orge (Barley), **R** : Seigle (Rye), **RSM** : T. colza (Rapeseed Meal)

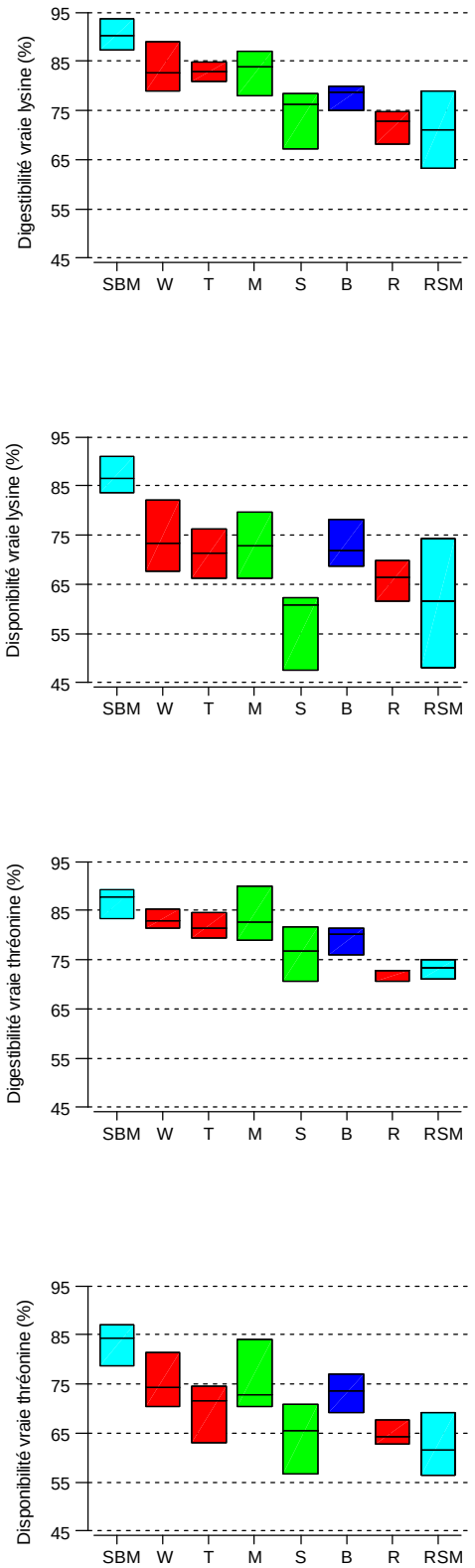


Tableau 55 : Digestibilité vraie de l'azote et des acides aminés de diverses matières premières

	Blé		Triticale		Seigle		Orge		Maïs		Sorgho		T. Soja		T. Colza	
n[1]	10		10		5		5		7		6		9		4	
	m[2]	etm[3]	m	etm	m	etm	m	etm	m	etm	m	etm	m	etm	m	etm
N	89	0.6	87	0.6	77	0.5	83	1.1	87	0.8	81	1.1	88	0.8	74	1.3
Lys	83	0.9	83	0.5	72	1.1	78	0.9	83	1.4	75	1.8	90	0.8	71	3.2
Thr	83	0.5	82	0.6	72	0.5	79	0.9	83	1.4	77	1.6	87	0.8	73	1.1
Met	91	0.4	91	0.3	84	1.8	88	0.8	94	1.1	87	1.4	93	0.4	86	1.0
Cys	92	0.4	91	0.3	86	1.3	88	0.4	90	1.0	79	1.3	87	1.0	78	1.2
Trp	89	0.8	87	0.6	75	1.4	83	1.2	79	1.3	81	1.0	90	0.7	76	2.4
Arg	88	1.0	90	0.5	80	1.0	84	1.5	91	0.7	85	2.6	95	0.6	84	3.8
His	90	0.6	89	0.7	79	0.4	85	1.3	89	1.0	80	1.9	91	0.6	82	1.3
Ile	90	0.5	87	0.4	78	0.6	84	1.1	89	1.0	84	1.0	91	0.6	76	1.3
Leu	90	0.5	88	0.4	78	0.6	86	0.9	93	0.8	88	1.0	90	0.6	79	1.1
Phe	92	0.5	89	0.4	82	0.6	87	1.1	92	0.8	87	1.0	91	0.6	82	1.9
Tyr	90	0.5	88	0.6	75	0.8	87	0.9	89	1.0	86	1.1	92	0.6	78	1.5
Val	86	0.6	85	0.4	75	0.6	83	1.0	88	0.7	81	1.0	89	0.6	75	1.3
Ala	81	0.9	79	0.7	69	0.6	75	1.0	89	0.9	80	2.7	87	0.8	78	1.3
Asp	85	0.6	84	0.6	77	1.0	80	0.3	88	1.0	82	0.9	91	0.6	74	1.7
Glu	96	0.3	94	0.2	89	0.6	91	0.8	93	0.7	87	0.9	91	0.9	84	1.1
Gly	86	0.6	84	0.4	72	0.7	81	1.1	83	2.0	70	1.5	86	1.4	75	1.3
Ser	90	0.4	88	0.4	78	0.5	84	0.7	89	1.1	83	1.0	90	0.7	76	1.0

[1] n : nombre de lots - [2] m : moyenne - [3] etm écart type de la moyenne

Tableau 56 : Estimation de la disponibilité vraie de l'azote et des acides aminés de diverses matières premières

Valeurs calculées à partir de nos observations (avec Ke = 0.5)

	Blé		Triticale		Seigle		Orge		Maïs		Sorgho		T. Soja		T. Colza	
n[1]	10		10		5		5		7		6		9		4	
	m[2]	etm[3]	m	etm	m	etm	m	etm	m	etm	m	etm	m	etm	m	etm
N	82	1.0	75	1.6	70	0.7	77	1.9	79	1.4	71	1.1	84	1.3	61	3.2
Lys	74	1.4	72	1.1	66	1.4	73	1.7	73	2.0	58	2.3	88	1.0	61	5.4
Thr	74	1.0	69	1.3	65	0.8	73	1.3	75	2.0	65	1.9	83	1.2	62	2.6
Met	85	0.8	84	0.7	79	2.0	85	0.4	89	1.3	81	2.0	90	0.8	79	1.8
Cys	86	0.7	84	0.7	82	1.6	84	1.2	84	1.1	70	1.5	83	1.4	69	2.6
Trp	81	1.0	76	1.3	68	1.6	77	2.1	66	1.3	70	1.0	86	1.1	64	3.6
Arg	85	0.8	84	0.7	77	1.0	81	1.0	85	0.9	76	3.7	93	0.7	78	2.8
His	86	0.7	83	0.7	75	0.3	82	1.5	85	1.1	74	2.5	89	0.8	76	1.7
Ile	84	0.9	78	0.9	73	0.9	80	1.4	83	1.3	76	1.1	88	0.8	67	1.9
Leu	85	0.8	81	0.9	73	0.9	82	1.1	90	0.9	84	1.0	87	0.9	71	1.6
Phe	88	0.7	83	0.8	78	0.6	85	1.1	88	1.0	82	1.1	89	0.8	74	1.5
Tyr	85	0.7	80	0.7	70	1.0	83	1.4	85	1.3	80	1.3	90	0.6	70	1.8
Val	79	1.0	76	1.0	70	0.9	78	1.1	81	1.1	73	1.1	85	0.9	65	2.1
Ala	71	1.3	69	1.3	63	0.8	69	1.7	85	1.3	75	2.6	82	1.2	65	3.2
Asp	77	1.1	74	1.3	72	1.2	74	1.5	81	1.4	73	1.0	88	0.8	63	3.1
Glu	94	0.4	91	0.4	87	0.6	90	0.8	90	0.9	84	0.9	89	1.1	79	1.5
Gly	75	1.3	69	1.3	63	1.0	73	1.7	70	2.8	51	2.2	80	2.1	59	3.7
Ser	84	0.8	79	1.0	73	0.6	80	1.0	83	1.6	75	1.1	87	1.0	65	2.6

[1] n : nombre de lots - [2] m : moyenne - [3] etm écart type de la moyenne

IV - Conclusion

L'analyse globale de données nous a permis d'éclaircir un certain nombres de points d'ordre méthodologique. En particulier, le concept d'excrétion azotée endogène basale, fonction de la quantité de matière sèche ingérée, semble fondé. De même, nos résultats suggèrent que l'usage d'un aliment protéiprive, ne contenant, comme source de fibre, que de la cellulose purifiée (cellulose de papier ou de bois), permet de déterminer l'excrétion endogène basale de façon pertinente. De plus, en dépit de la variabilité animale prédominante sur l'excrétion azotée endogène basale, une valeur moyenne, obtenue sur un nombre suffisant d'animaux, permet de calculer la digestibilité iléale vraie de façon pertinente. Reste le problème de l'évaluation de l'effet du poids des animaux sur l'excrétion azotée endogène basale chez des animaux jeunes, et de son impact sur la digestibilité vraie.

La répétabilité de nos mesures de digestibilité est comparable à celle qu'ont obtenue d'autres auteurs avec des dispositifs expérimentaux plus élaborés. On peut toutefois recommander, en plus de la standardisation des méthodes analytiques et expérimentales, un effort supplémentaire de planification afin d'éviter, autant que possible, d'attribuer aux lots de matières premières de possibles effets du groupe d'animaux et du stade.

La méthode de régression linéaire multiple que nous avons utilisée pour quantifier la part de protéine endogène présente à la fin de l'iléon comporte l'avantage évident de son faible coût expérimental. Toutefois, elle a échoué dans certains cas, soit en raison de la trop grande proximité entre les protéines de références, soit en raison du choix inadéquat des protéines de référence. Comme d'autres techniques (dilution isotopique avec marquage de l'animal, marquage de l'aliment à l'homoarginine), elle repose sur l'hypothèse de la constance du profil de la protéine endogène. A ce jour, rien ne prouve le bien fondé de cette hypothèse et seules les méthodes de marquage de l'animal avec un mélange d'acides aminés, ou les méthodes de marquage de l'aliment pourraient constituer un progrès dans ce sens. Dans l'attente de la mise au point de telles techniques, la régression linéaire multiple nous a permis de progresser dans la connaissance de la valeur alimentaire des matières premières. En particulier, nos résultats suggèrent que, pour les matières premières que nous avons étudiées, la ligno-cellulose est le principal facteur de variation de l'excrétion azotée endogène spécifique. Toutefois, nous n'avons pas couvert l'ensemble de la gamme des matières premières utilisées dans l'alimentation du porc. D'autres facteurs antinutritionnels, tels que les facteurs antitrypsiques ou les pectines pourraient être impliqués pour des matières premières telles que le pois.

Les relations que nous avons établies entre l'excrétion azotée endogène spécifique et la teneur en ADF et, éventuellement, le poids des animaux doivent être validées. La mise en place d'expérimentations selon un protocole dans lequel aucune incertitude ne subsiste quant à la liaison entre la teneur, ou l'origine de la ligno-cellulose et le poids de l'animal est indispensable. Selon nos résultats, il serait important de bien valider l'effet de la ligno-cellulose de différentes origines sur l'excrétion endogène d'azote, en particulier chez l'animal de moins de 60 kg. Par extension, une investigation dans ce domaine chez l'animal de 15 à 30 kg pourrait être riche d'informations. Si nos relations pouvaient être extrapolées sur ce type d'animaux, elles pourraient constituer un élément d'explication au caractère sécurisant de

l'orge dans les formules destinées aux porcelets deuxième âge.

La distinction entre l'indigestible alimentaire et l'excrété d'origine endogène constitue un progrès vers une meilleure estimation de la valeur alimentaire des matières premières. La prise en compte du coût métabolique associé aux pertes azotées endogènes dans le calcul de la disponibilité vraie conduit à une modification de la hiérarchie des matières premières : par rapport à leur positionnement dans le système digestibilité vraie, les matières premières induisant les pertes endogènes spécifiques les plus faibles seraient revalorisées. Toutefois, des bases scientifiques sont encore à acquérir pour une meilleure évaluation du coût métabolique associé aux pertes endogènes. En particulier, il faudrait s'assurer que ce coût est indépendant de la matière première ou du facteur antinutritionnel impliqué dans l'augmentation de l'excrétion endogène spécifique d'azote, ainsi que du premier acide aminé limitant dans la ration. Par ailleurs la quantification des pertes endogènes au niveau du gros intestin et leur impact sur la disponibilité des acides aminés restent encore à évaluer.

Cependant, nos résultats suggèrent que l'introduction de matières premières riches en facteurs antinutritionnels induisant une augmentation des pertes endogènes spécifiques, devrait être compensée par un apport supplémentaire en thréonine, surtout chez des animaux jeunes. A cet égard, et afin de compléter notre base de données, il semble important de préciser la valeur alimentaire des matières premières riches en fibres insolubles. Une meilleure connaissance de l'excrétion endogène spécifique qu'elles provoquent pourrait permettre de limiter les risques liés à leur introduction dans les formules.

V - Références

Bartelt J., Drochner W., Sommer A., 1997. Recovery of different nitrogen fractions at the distal ileum in ^{15}N-labelled pigs fed grain diets with or without fish meal and graded levels of fibre. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, pp 617-620.

Bastianelli D., 1996. Quantification des sécrétions endogènes : modélisation empirique du flux d'azote endogène à l'iléon à partir des résultats de la bibliographie. In : Modélisation de la digestion chez le porc en croissance. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique de Paris-Grignon, pp 83-129.

Batterham E.S., Andersen L.M., Baigent D.R., Beech S.A., Elliott R., 1990. Utilization of ileal digestible amino acids by pigs : lysine. Br. J. Nutr., 64, 679-690.

Batterham E.S., Andersen L.M., Baigent D.R., 1993. Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs : methionine. Br. J. Nutr., 70, 711-720.

Bergner H., Lück M., Müller J., 1981. Untersuchung zur Sorption von Aminosaüren an Diätkomponenten. Arch. Tierernähr., Berlin, 31, 265-271.

Bodin J.C., McMillan E., Maillard R., van Kempen T., Williams P.E.V., 1998. Effect of time post-surgery on the measurement of ileal digestibility in ileal rectal anastomosed pigs. In : Proc. Ann. Meet. Br. Soc. Anim. Sci., Br. Soc. Anim. Sci. Publ., March, Scarborough, UK, 162.

Boisen S., 1983. Protease inhibitors in cereals. Occurence, properties, physiological role and nutritional influence. Acta Agric. Scand., 33, 369-381.

Boisen S., Moughan P. J., 1996. Dietary influences on endogenous ileal protein and amino acid loss in the pig : A review. Acta Agric. Scand. A, Animal Sci., 46, 154-164.

Buraczewska L.E., Schulze J., Gdala J., Grala W., 1988. Ileal and total digestibility of NDF and ADF of different feedstuffs in the pig. In: Proc. 4th Intern. Sem. on Digestive Physiology in the Pig. Buraczewska, L., Buraczewski, S., Patuczewska, B., Zebrowska, T. (Eds), Jablonna, Poland, pp 224-228.

Butts C. A., Moughan P. J., Smith W. C., Carr D. H., 1993a. Endogenous lysine and other amino acid flows at the terminal ileum of the growing pig (20 kg bodyweight): the effect of protein-free, synthetic amino acid, peptide and protein alimentation. J. Sci. Food Agric., 61, 31-40.

Caine W.R., Tamminga S., Sauer W.C., Verstegen M.W.A., Schulze H., 1999. Bacterial contributions to total and endogenous recoveries of nitrogen and amino acids in ileal digesta of newly weaned piglets fed protease-treated soybean meal. Livest. Prod. Sci., 57, 147-157.

Chang C.J., Tanksley T.D. Jr, Knabe D.A., Zebrowska T., 1987. Effect of different heat treatments during processing on nutrient digestibility of soybean meal in growing swine. J. Anim. Sci., 65, 1273-1282.

Darcy B., Laplace J.P., Villiers P.A., 1981. Digestion dans l'intestin grêle chez le porc. 4. Cinétique de passage des digesta au niveau de la jonction iléo-caeco-colique et bilans de la digestion selon la nature de l'amidon et la source de protéines alimentaires. Ann. Zootech., 30, 31-62.

De Lange C.F.M., Sauer W.C., Souffrant W., 1989a. The effect of feeding different protein-free diets on the recovery and amino acid composition of endogenous protein collected from the distal ileum and faeces in pigs. J. Anim. Sci., 67, 746-754.

De Lange C.F.M., Sauer W.C., Mosenthin R., Souffrant W.,1989b. The effect of protein status of the pig on the recovery and amino acid composition of endogenous protein in digesta collected from the distal ileum. J. Anim. Sci., 67, 755-762.

De Lange C.F.M., Souffrant W.B., Sauer, W.C., 1990. Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determined with the 15N-isotope dilution technique. J. Anim. Sci. 68: 409-418

De Lange C.F.M., Gabert V.M., Gillis D., Patience J.F., 1998. Digestible energy contents and apparent ileal amino acid digestibilities in regular or partial mechanically dehulled canola meal samples fed to growing pigs. Can. J. Anim. Sci., 78, 641-648.

Dierick N. A., Decuypere J. A., Vervaeke I. J., Henderickx H. K., 1983. Digestion iléale et fécale de la matière sèche, des protéines et des acides aminés de quelques rations conventionnelles pour les porcs à l'engrais. Rev. Agric. , 36, 1713-1726.

Dugan M. E. R., Sauer W. C., Dugan Jr J. M., Caine W. R., 1994. Determination of bacterial amino acid contribution to ileal digesta from pigs using ^{35}S and DAPA marker techniques. J. Anim. Feed Sci., 3, 149-159.

Duvaux C., Guilloteau P., Toullec R., Sissons J.W., 1990. A new method for estimating the proportions of different proteins in a mixture using amino acid profiles : application to undigested proteins in the preruminant calf. Ann. Zootech., 39, 9-18.

Elkin R.G., Freed M.B., Hamaker B.R., Zhang Y., Parsons C.M., 1996. Condensed tannins are only partially responsible for variations in nutrient digestibilities of sorghum grain cultivars. J. Agric. Food Chem., 44, 848-853.

Evers A.D., Blakeney A.B., O'Brien L., 1999. Cereal structure and composition. Aust. J. Agric. Res., 50, 629-650.

Fuller M.F., 1991. Methodologies for the measurement of digestion. In : Digestive Physiology in Pigs. Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. Verstegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., eds. EAAP publication n°54, Pudoc, April 24-26, 1991, Wageningen, The Netherlands, 273-288.

Fuller M.F., Reeds J., 1998. Nitrogen cycling in the gut. Annu. Rev. Nutr., 18, 385-411.

Furuya S., Kaji Y., 1992. The effect of feed intake and purified cellulose on the endogenous ileal amino acid flow in growing pigs. Br. J. Nutr., 68, 463-472.

Graham H., Hesselman K., Jonsson E., Aman P., 1986. Influence of β-glucanase supplementation on digestion of a barley-based diet in the pig gastrointestinal tract. Nutr. Rep. Intern., 34, 1089-1096.

Grala W., Buraczewska L., Gdala J., Pastuszewska B., 1994. Effect of the thermal processing on the protein value of double-low rapeseed products. 1. Effect of toasting temperature on protein value of rapeseed oil meal for pigs. J. Anim. Feed Sci., 3, 33-42.

Grala W., Verstegen M.W.A., van Leeuwen P., Huisman J., Jansman A.J.M., Tamminga S., 1997. Nitrogen balance of pigs as affected by feedstuffs causing different endogenous nitrogen flow at the terminal ileum. Livest. Prod. Sci., 48, 143-155.

Grala W., Verstegen M.W.A., Jansman A.J.M., Huisman J., van Leeuwen P., 1998a. Ileal apparent protein and amino acid digestibilities and endogenous nitrogen losses in pigs fed soybean and rapeseed products. J. Anim. Sci., 76, 557-568.

Grala W., Buraczewska L., Wasilewko J., Verstegen M.W.A., Jansman A.J.M., Korczynski W., 1998b. Flow of endogenous and exogenous nitrogen in different segments of the small intestine in pigs fed diets with soybean concentrate, soybean meal or rapeseed cake. In: Nitrogen utilization in pigs as affected by dietary induced losses of ileal endogenous nitrogen, PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Animal Nutrition Department, The Netherlands, pp 123-144.

Grala W., Verstegen M.W.A., Jansman A.J.M., Huisman J., van Leeuwen P., 1999. Apparent protein digestibility and recovery of endogenous nitrogen at the terminal ileum of pigs fed diets containing various soybean products, pea or rapeseed hulls. Anim. Feed Sci. Technol., 80, 231-245.

Green S., Kiener T., 1989. Digestibilities of nitrogen and amino acids in soya-bean, sunflower, meat and rapeseed meals measured with pigs and poultry. Anim. Prod., 48, 157-179.

Green S., Bertrand S.L., Duron M.J.C., Maillard R.A., 1987. Digestibility of amino acids in maize, wheat and barley meal, measured in pigs with ileo-rectal anastomosis and isolation of the large intestine. J. Sci. Food Agric., 41, 29-43.

Hess V., 1999. Consequences of the endogenous ileal losses and real digestibility on the availability of amino acids in growing pigs. In : Disponibilité vraie des acides aminés et impact des pertes azotées endogènes spécifiques selon la source de protéines alimentaires chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, pp 92-107.

Hess V., Sève B., 1999a. Effects of body weight and feed intake level on basal endogenous losses in growing pigs. J. Anim. Sci., 77, 3281-3288.

Hess V., Sève B., 1999b. Investigation of the real digestibility and ileal endogenous losses of amino acids of wheat and wheat-meal by-products in growing pigs. In : Disponibilité vraie des acides aminés et impact des pertes azotées endogènes spécifiques selon la source de protéines alimentaires chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, pp 107-122.

Hess V., Sève B., Langer S., Duc G., 2000. Impact des pertes endogènes iléales sur la rétention azotée corporelle. Vesr un nouveau système d'évaluation des protéines. J. Rech. Porcine en France, 32, 207-215.

Hodgkinson S.M., Moughan P.J., Reynolds G.M., 1997. Effect of live weight on endogenous ileal nitrogen and amino acid excretion in the growing pig. In: Manipulating Pig Production VI. Proc. 6th Biennal Conf. Australasian Pig Sci. Assoc., Canwell P.D,. eds, December 7-10, Canberra, ACT, 235-236.

Howard P., Mahoney, R.R. Wilder, T., 1986. Binding of amino acids by dietary fibres and wheat bran. Nutr. Rep. Intern., 34, 135-140.

Jensen M.S., Bach Knudsen K.E., Inborr J., Jakobsen K., 1998. Effect of β-glucanase supplementation on pancreatic enzyme activity and nutrient digestibility in piglets fed diets based on hulled and hulless barley varieties. Anim. Feed Sci. Technol., 72, 329-345.

Johansen H.N., Bach Knudsen K.E., Wood P.J., Fulcher R.G., 1997. Physico-chemical properties and the degradation of oat bran polysaccharides in the gut of pigs. J. Sci. Food Agric., 73, 81-92.

Krawielitzki K., Zebrowska T., Schadereit R., Kowalczyk J., Wünsche J., Hermann U., 1990. Determining of nitrogen absorption and nitrogen secretion in different sections of the pig's intestine by digesta exchange between ^{15}N-labelled and unlabelled animals. Arch. Anim. Nutr.,40, 25-37.

Krawielitzki K., Zebrowska T., Kreienbring F., Schadereit R., Kowalczyk J., 1996. Absorption and secretion of exogenous and endogenous N along the digestive tract and kinetic parameters of protein metabolism in growing pigs. 1. Estimation by digesta exchange between ^{15}N-labelled and unlabelled pigs. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr., 76, 46-56.

Laplace J.P., Souffrant W.B., Hennig U., Chabeauti E., Février C., 1994. Measurement of precaecal dietary protein and plant cell wall digestion in pigs : comparison of four surgical procedures for ileorectal anastomosis. Livest. Prod. Sci., 40, 313-328.

Larsen F.M., Moughan P.J., Wilson M.N., 1993. Dietary fibre viscosity and endogenous protein excretion at the terminal ileum of growing rats. J. Nutr., 123, 1898-1904.

Lechevestrier Y., 1996. Digestion et absorption des acides aminés dans l'intestin grêle du porc. Effets de la composition des protéines alimentaires, de leurs propriétés physiques et des facteurs antinutritionnels. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon, 161 pp.

Leterme P. Pirard L., Thewis A., 1992. A note on the effect on wood cellulose level in protein-free diets on the recovery and amino acid composition of endogenous protein from the ileum in pigs. Anim. Prod., 54, 163-165.

Lewis F.J., McEvoy J., McCracken K.J., 1998. Lack of relationship between wheat in vitro viscosity and digestibility parameters for pigs. In : Proc. Ann. Meet. Br. Soc. Anim. Sci., Br. Soc. Anim. Sci. Publ., March, Scarborough, UK, p 32.

Lien K.A., Sauer W.C., Mosenthin R., Souffrant W., Dugan M.E.R., 1997. Evaluation of the ^{15}N-isotope dilution technique for determining the recovery of endogenous protein in ileal digestion of pigs : effect of dilution in the

precursor pool for endogenous nitrogen secretion. J. Anim. Sci., 75, 148-158.

Maenz D.D., Irish G.G., Classen H.L., 1999. Carbohydrate-binding and agglutinating lectins in raw and processed soybean meals. Anim. feed. Sci. Technol., 76, 335-343.

Makkink C.A., Heinz T., Souffrant W.B., Verstegen M.W.A., 1997. Endogenous N losses at the terminal ileum of young piglets fed diets based on four different protein sources. J. Anim. Feed Sci. 6, 219-234.

Mariscal-Landin G., 1992. Facteurs de variation de l'utilisation digestive des acides aminés chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, 134 pp.

Mariscal-Landin G., Sève B., Colleaux Y., Lebreton Y., 1995. Endogenous amino nitrogen collected from pigs with end-to-end ileorectal anastomosis is affected by the method of estimation and altered by dietary fiber. J. Nutr., 125, 136-146.

Marty B.J., Chavez E.R., De Lange C.F.M., 1994. Recovery of amino acids at the distal ileum for determining apparent and true ileal amino acid digestibilities in growing pigs fed various heat-processed full fat soybean products. J. Anim. Sci. 72, 2029-2037.

Mossé J., 1990. Nitrogen to protein conversion factor for ten cereals and six legumes or oilseeds. A reappraisal of its definition and determination. Variation according to species and to seed protein content. J. Agric. Food Chem., 38, 18-24.

Nyachoti C. M., de Lange C. F. M., McBride B. W., Schulze H., 1997. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs : a review. Can. J. Anim. Sci., 77, 149-163.

Poppe S., Meier H., Bennke H.J., Stuwe E., 1983. Zur Protein und Aminosaürenverdaulichkeit in verschiedenen Darmabschnitten beim Schwein. 3. Aminosaürenzusammensetzung von Chymus und Kotprotein. Arch. Tierenähr., 33, 743-748.

Sauer W.C., Kennelly J.J., Aherne F.X., Cichon R.M., 1981. Availabilities of amino acids in barley and wheat for growing pigs. Can. J. Anim. Sci., 61, 793-802.

Sauer W.C., Cichon R., Misir R., 1982. Amino acid availability and protein quality of canola and rapeseed meal for pigs and rats. J. Anim. Sci., 54, 292-301.

Savoie L., Galibois I., Parent G., Charbonneau R., 1988. Sequential release of amino acids and peptides during in vitro digestion of casein and rapeseed proteins. Nutr. Res., 8, 1319-1326.

Schulze H., van Leeuwen P., Verstegen M.W.A., Huisman J., Souffrant W. B., Ahrens F., 1994a. Effect of level of Dietary Neutral Detergent Fiber on ileal apparent digestibility and ileal nitrogen losses in pigs. J. Anim. Sci., 72, 2362-2368.

Schulze H., Vertegen M.W.A., Huisman J., 1994b. Soybean trypsin inhibitors affect ileal endogenous and exogenous nitrogen flow in pigs. In : Endogenous ileal nitrogen losses in pigs - Dietary factors. PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Animal Nutrition Department, The Netherlands, pp 79-92.

Schulze H., van Leeuven P., Verstegen M.W.A., ven den Berg J.W.O., 1995b. Dietary level and source of neutral detergent fiber and ileal endogenous nitrogen flow in pigs. J. Anim. Sci., 73, 441-448.

Sève B., Henry Y., 1996. Protein utilisation in non ruminants. In : Proc. 7th Symp. on Protein Metabolism and Nutrition, A.F. Nunes, A.V. Portugal, J.P. Costa, J.R. Ribeiro Eds, EAAP Pub. N° 81, 24-27 May 1995, Vale de Santarém, Portugal, 59-82.

Sève B., Mariscal-Landin G., Février C., Lechevestrier Y., 1994a. Prédiction de la digestibilité iléale des acides aminés chez le porc: le cas des issues de blé, Journées Rech. Porcine en France, 26, 259-266.

Sève B., Mariscal-Landin G., Colleaux G., Lebreton Y., 1994b. Ileal endogenous amino acid and amino sugar flows in pigs fed graded levels of protein or fibre. In: Proc. Vith Intern. Symp. On Digestive Physiology in Pigs, Volume I, Souffrant W.B., Hagemeiter H. Eds, EAAP Publication n°80, 4-6th October, Bad Doberan, Germany, 35-38.

Sève B., Hess V., 2000. Amino acid digestibility in formulation of diets for pigs: present interest and limitations, future prospects. In: Proc. 34th university of Nottingham Feed Manufacturers Conference, 5th-7th January, 14 pp.

Sève B., Tran G., Jondreville C., Skiba F., van Cauwenberghe S., Bodin J.C., Langer S., 2000a. Measuring ileal basal endogenous losses and digestive utilisation of amino acids through ileo-rectal anastomosis in pigs: ring test between three laboratories. Proc. 8th Intern. Symp. On Digestive Physiology in Pigs, 20-22 June, Uppsala, Sweeden, in press.

Souffrant W.B., 1991. Endogenous nitrogen losses during digestion in pigs. In : Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. Verstegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., eds.EAAP publication n°54, Pudoc, April 24-26, 1991, Wageningen, The Netherlands, 147-166.

Souffrant W.B., Rérat A., Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Kohler R., Corring T., Gebhardt G., 1993. Exogenous and endogenous contribution to nitrogen fluxes in the digestive tract of pigs fed a casein diet. III. Recycling of endogenous nitrogen. Reprod. Nutr. Dev., 33, 373-382.

Stein H.H., 1998. Effect of body weight on total losses and amino acid composition of endogenous protein in growing pigs. In : Comparative amino acid digestibilities in growing pigs and sows. PhD Thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois, USA, pp 215-236.

Taverner M.R., Hume I.D., Farell D.J., 1981a. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 1. Endogenous levels of amino acids in ileal digesta and faeces of pigs given cereal diets. Br. J. Nutr., 46, 149-158.

Taverner M.R., Hume I.D., Farrell D.J., 1981b. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 2.Apparent and true ileal availability. Br. J. Nutr., 46, 159-171.

van Barneveld, R.J., 1999. Chemical and physical characteristics of grains related to variability in energy and amino acid availability in pigs: a review. Aust. J. Agric. Res., 50, 667-687.

van Barneveld R.J., Batterham E.S., Norton B.W., 1994. The effect of heat on amino acids for growing pigs. 3. The availability of lysine from heat-treated field peas (Pisum sativum cultivar Dundale) determined using the slope-ratio assay. Br. J. Nutr., 72, 257-275.

van Soest P.J., Mason V.C., 1991. The influence of the Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds. Anim. Feed Sci. Technol., 32, 45-53.

Yin Y.L., McEvoy J.D.G., Schulze H., Hennig U., Souffrant W.B., McCracken K.J., 2000. Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients and endogenous nitrogen losses in growing pigs fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with xylanase supplementation. Livest. Prod. Sci., 62, 119-132.

Références bibliographiques

1. AFNOR, 1976. Détermination de la teneur en eau. NF V 03-707. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense.
2. AFNOR, 1977a. Dosage de l'azote en vue du calcul de la teneur en protéines brutes. NF V 18-100. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense.
3. AFNOR, 1977b. Dosage des cendres brutes. NF V 18-101. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense.
4. AFNOR, 1985. Dosage des tanins. NF V 03-751. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense.
5. AFNOR, 1993a. Aliments des animaux, dosage des acides aminés. NF V 18-113. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense.
6. AFNOR, 1993b. Détermination de la cellulose brute, méthode générale. NF V 03-040. Association Française de Normalisation, Paris-La Défense.
7. AFZ., 1998. IO7, Banque de Données de l'Alimentation Animale. Version 4.0, November 1998, Association Française de Zootechnie, Paris, France.
8. Aman P., 1988. The variation in chemical composition of Swedish wheat. Swed. J. Agric. Res., 18, 27-30.
9. Aman P., Hesselman K., Tilly A.C., 1985. The variation in chemical composition of Swedish barley. J. Cereal Sci., 3, 73-77.
10. AOCS, 1983. Official Method Ba12-75. Sampling and analysis of oilseeds by-products. Trypsin inhibitor activity. American Oil Chemist's Society, Champaign, IL, USA.
11. Auclair E., 1986. Etudes des pertes azotées d'origine endogène dans le tube digestif chez trois espèces monogastriques : le porc, le coq et le rat. Thèse de doctorat, Université de Clermont-Ferrand II.
12. Bach Knudsen K.E., 1997. Carbohydrates and lignin content of plant materials used in animal feeding. Anim. Feed Sci. Technol., 67, 319-338.
13. Bach Knudsen K.E., Hansen I., 1991. Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions. 1. Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major constituents. Br. J. Nutr., 65, 217-232.
14. Bach Knudsen K.E., Johansen H.N., 1995. Plant carbohydrates : enzymatic hydrolysis and microbial fermentation in the gastrointestinal tract of pigs. In : Proc. 46th EAAP Annual Meeting, van Arendonk eds, September 4-7, Prague Czech Republic, 17 pp.
15. Bach Knudsen K.E., Canibe N., 1997. Digestion of carbohydrates in the small and large intestine of pigs fed on wheat or oat based rolls. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, 562-566.
16. Bach Knudsen K.E., Jensen B.B., Andersen J.O., Hansen I., 1991. Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions. 2. Microbial activity in the gastrointestinal tract. Br. J. Nutr., 65, 233-248.
17. Baidoo S.K., Liu Y.G., Yungblut D., 1998. Effect of microbial enzyme supplementation on energy, amino acid digestibility and performance of pigs fed hulless barley based diets. Can. J. Anim. Sci., 78, 625-631
18. Bartelt J., Drochner W., Sommer A., 1997. Recovery of different nitrogen fractions at the distal ileum in ^{15}N-labelled pigs fed grain diets with or without fish meal and graded levels of fibre. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, pp 617-620.
19. Barth C.A., Lunding B., Schmitz M., Hagemeister H., 1993. Soybean trypsin inhibitor(s) reduce absorption of exogenous and

increase loss of endogenous protein in miniature pigs. J. Nutr., 123, 2195-2200.

20. Bastianelli D., 1996. Quantification des sécrétions endogènes : modélisation empirique du flux d'azote endogène à l'iléon à partir des résultats de la bibliographie. In : Modélisation de la digestion chez le porc en croissance. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique de Paris-Grignon, pp 83-129.
21. Batterham E.S., Andersen L.M., 1994. Utilization of ileal digestible amino acids by pigs : isoleucine. Br. J. Nutr., 71, 531-541.
22. Batterham E.S., Andersen L.M., Baigent D.R., Beech S.A., Elliott R., 1990. Utilization of ileal digestible amino acids by pigs : lysine. Br. J. Nutr., 64, 679-690.
23. Batterham E.S., Andersen L.M., Baigent D.R., 1993. Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs : methionine. Br. J. Nutr., 70, 711-720.
24. Beech S.A., Batterham E.S., Elliott R., 1991. Utilization of ileal digestible amino acids by pigs : threonine. Br. J. Nutr., 65, 381-390.
25. Bell J.M., 1984. Nutrients and toxicants in rapeseed meal: a review. J. Anim. Sci. 58, 996-1010.
26. Bell J.M., Tyler R.T., Rakow G., 1998. Nutritional composition and digestibility by 80-kg to 100-kg pigs of prepress solvent-extracted meals from low glucosinolates Brassica juncea, B. napus and B. rapa seed and of solvent-extracted soybean meal. Can. J. Anim. Sci., 78, 199-203.
27. Bergner H., Lück M., Müller J., 1981. Untersuchung zur Sorption von Aminosaüren an Diätkomponenten. Arch. Tierernähr., Berlin, 31, 265-271.
28. Bergner H., Simon O., Zebrowska T., Münchmeyer R., 1986. Studies on the secretion of amino acids and of urea into the gastrointestinal tract of pigs. 3. Secretion of urea determined by continuous intravenous infusion of ^{15}N-urea. Arch. Anim. Nutr., 36, 479-490.
29. Bjergegaard C., Eggum O., Jensen S.K., Sorensen H., 1991. Dietary fibres in oilseed rape: physiological and antinutritional effects in rats of isolated IDF and SDF added to a standard diet. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr., 66, 69-79.
30. Blomberg L., Henriksson A., Conway P.L., 1993. Inhibition of adhesion of Escherichia coli K88 to piglet ileal mucus by Lactobacillus spp. App. Env. Microbiol., 59, 34-39.
31. Bodin J.C., McMillan E., Maillard R., van Kempen T., Williams P.E.V., 1998. Effect of time post-surgery on the measurement of ileal digestibility in ileal rectal anastomosed pigs. In: Proc. Brit. Soc. of Anim. Sci.. Scarborough, UK, p 168
32. Boisen S., 1983. Protease inhibitors in cereals. Occurence, properties, physiological role and nutritional influence. Acta Agric. Scand., 33, 369-381.
33. Boisen S., Moughan P. J., 1996. Dietary influences on endogenous ileal protein and amino acid loss in the pig : A review. Acta Agric. Scand. A, Animal Sci., 46, 154-164.
34. Buraczewska L., 1979. Secretion of nitrogenous compounds in the small intestine of pigs. Acta Physiol. Pol., 30, 319-326.
35. Buraczewska L.E., Schulze J., Gdala J., Grala W., 1988. Ileal and total digestibility of NDF and ADF of different feedstuffs in the pig. In: Proc. 4th Intern. Sem. on Digestive Physiology in the Pig. Buraczewska, L., Buraczewski, S., Patuczewska, B., Zebrowska, T. (Eds), Jablonna, Poland, pp 224-228.
36. Buraczewski S., 1986. Endogenous NPN-compounds in the intestinal tract of monogastric animals. Arch. Anim. Nutr., 36, 274-281.
37. Butts C. A., Moughan P. J., Smith W. C., Carr D. H., 1993a. Endogenous lysine and other amino acid flows at the terminal ileum of the growing pig (20 kg bodyweight): the effect of protein-free, synthetic amino acid, peptide and protein alimentation. J. Sci. Food Agric., 61, 31-40.
38. Butts C. A., Moughan P. J., Reynolds G.W., Garrick D.J., 1993b. The effect of food dry matter intake on endogenous ileal amino

acid excretion determined under peptide alimentation in the 50kg liveweight pig. J. Sci. Food Agric., 62, 235-243.

39. Caine W.R., Verstegen M.W.A., Tamminga S., Sauer W.C., Schulze H., 1997a. Bacterial contributions of N and indispensable amino acids to ileal digesta of newly-weaned piglets fed diets with protease-treated soybeanmeal. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, 454-457.
40. Caine W.R., Tamminga S., Verstegen M.W.A., Sauer W.C., Schulze H., 1997b. Endogenous recoveries and true ileal digestibilities of amino acids in newly weaned pigs fed diets with protease-treated soybean meal. J. Anim. Sci., 75, 2970-2979.
41. Caine W.R., Sauer W.C., Verstegen M.W.A., Tamminga S., Li S., Schulze H., 1998. Guanidinated protein test meals with higher concentration of soybean trypsin inhibitors increase ileal recoveries of endogenous amino acids in pigs. J. Nutr., 128, 598-605.
42. Caine W.R., Tamminga S., Sauer W.C., Verstegen M.W.A., Schulze H., 1999. Bacterial contributions to total and endogenous recoveries of nitrogen and amino acids in ileal digesta of newly weaned piglets fed protease-treated soybean meal. Livest. Prod. Sci., 57, 147-157.
43. Chang C.J., Tanksley T.D. Jr, Knabe D.A., Zebrowska T., 1987. Effect of different heat treatments during processing on nutrient digestibility of soybean meal in growing swine. J. Anim. Sci., 65, 1273-1282.
44. Chesson A., 1993. Feed enzymes. Anim. Feed Sci. Technol., 45, 65-79.
45. Chung O. K., Pomeranz Y., 1985. Amino acids in cereal proteins and protein fractions. In: J. W Finley, D. T. Hopkins (Editors). Digestibility and amino acids availability in cereals and oilseeds. American Association of Cereal Chemists. St Paul, Minnesota, pp 65-107
46. Clemens E.T., Stevens C.E., Southworth M., 1975. Sites of organic acid production and pattern of digesta movement in the gastrointestinal tract of swine. J. Nutr., 105, 759-768.
47. Corring T., Jung J., 1972. The amino acid composition of pig pancreatic juice. Nutr. Rep. Intern., 6, 187-190.
48. Cousins B.W., Tanksley T.D. Jr, Knabe D.A., Zebrowska T., 1981. Nutrient digestibility and performance of pigs fed sorghum varying in tannin concentration. J. Anim. Sci., 53, 1524-1537.
49. Cunningham H.M., Friend D.W., Nicholson J.W.G., 1962. Note on a re-entrant intestinal fistula for digestion studies in pigs. Can. J. Anim. Sci., 42, 112-113.
50. CVB, 1992. Central Veevoederbureau. Veevoedertabel. Lelystad, The Netherlands.
51. CVB, 1998. Veevoedertabel 1998. Centraal Veevoederbureau, Lelystad, The Netherlands.
52. Daiber K.H., 1975. Enzyme inhibition by polyphenols of sorghum grain and malt. J. Sci. Food Agric., 26, 1399-1411.
53. Darcy B., Laplace J.P., Villiers P.A., 1980. Digestion dans l'intestin grêle chez le porc. 2. Cinétique comparée de passage des digesta selon le mode de fistulation, iléo-caecale ou iléo-caecale post-valvulaire, dans diverses conditions d'alimentation. Ann. Zootech., 29, 147-177.
54. Darcy B., Laplace J.P., Villiers P.A., 1981. Digestion dans l'intestin grêle chez le porc. 4. Cinétique de passage des digesta au niveau de la jonction iléo-caeco-colique et bilans de la digestion selon la nature de l'amidon et la source de protéines alimentaires. Ann. Zootech., 30, 31-62.
55. Darcy B., Laplace J.P., Duée P.H., 1982. Digestion des protéines dans l'intestin grêle chez le porcs. 1. Digestibilité des acides aminés selon la source de protéines dans l'intestin grêle selon la source de protéines

d'un régime à base d'amidon de maïs purifié. Ann. Zootech., 31, 279-300.

56. De Lange C.F.M., Sauer W.C., Souffrant W., 1989a. The effect of feeding different protein-free diets on the recovery and amino acid composition of endogenous protein collected from the distal ileum and faeces in pigs. J. Anim. Sci., 67, 746-754.
57. De Lange C.F.M., Sauer W.C., Mosenthin R., Souffrant W.,1989b. The effect of protein status of the pig on the recovery and amino acid composition of endogenous protein in digesta collected from the distal ileum. J. Anim. Sci., 67, 755-762.
58. De Lange C.F.M., Souffrant W.B., Sauer W.C., 1990. Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determined with the ^{15}N-isotope dilution technique. J. Anim. Sci., 68, 409-418
59. De Lange C.F.M., Gabert V.M., Gillis D., Patience J.F., 1998. Digestible energy contents and apparent ileal amino acid digestibilities in regular or partial mechanically dehulled canola meal samples fed to growing pigs. Can. J. Anim. Sci., 78, 641-648.
60. den Hartog L.A., Huisman J., Thielen W.J.G., van Schayk G.H.A., Boer H., van Weerden E., 1988. The effect of including various structural polysaccharides in pig diets on ileal and fecal digestibility of amino acids and minerals. Livest. Prod. Sci., 18, 157-170.
61. Dierick N., Decuypere J., 1997. Microbial degradation of enzymic released non-starch polysaccharide constituents in the small intestine of the pig. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, pp 421-425.
62. Dierick N.A., Decuypere D.A., Vervaeke I.J., Hendrickx H.K., 1983. Digestion iléale et fécale de la matière sèche, des protéines et des acides aminés de quelques rations conventionnelles pour les porcs à l'engrais. Rev. Agric. (Bruxelles), 36, 1713-1726.
63. Dierick N. A., Vervaeke I. J., Decuypere J. A., Henderickx H. K., 1986. Influence of the gut flora and of some growth-promoting feed additives on nitrogen metabolism in pigs. I. Studies in vitro. Livest. Prod. Sci., 14, 161-176.
64. Donkoh A., Moughan P.J., 1999. Endogenous ileal nitrogen and amino acid flows in the growing pig receiving a protein-free diet and diets containing enzymically hydrolised casein or graded levels of meat and bone meal. Anim. Sci., 68, 511-518.
65. Drescher K., Hagemeister H., de Vrese M., Roos N., Middendorf K., Rantamäki P., 1994. Guanidination (homoarginine-labelling) of proteins does affect precaecal ^{15}N recovery in pigs. In : Proc. 6th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. W. B. Souffrant and H. Hagemeister Eds. Volume II. 4-6 October. Bad Doberan. pp 64-66.
66. Drochner W., 1984. Einfluss wechselnder Rohfaser- und Pektingehalte im Futter auf einige praecaecale und postileale Verdauungsvorgänge beim wachsenchen Schwein. Forschritte Tierphysiol. Tierernähr., 14, 120-125.
67. Dugan M. E. R., Sauer W. C., Dugan Jr J. M., Caine W. R., 1994. Determination of bacterial amino acid contribution to ileal digesta from pigs using ^{35}S and DAPA marker techniques. J. Anim. Feed Sci., 3, 149-159.
68. Duvaux C., Guilloteau P., Toullec R., Sissons J.W., 1990. A new method for estimating the proportions of different proteins in a mixture using amino acid profiles : application to undigested proteins in the preruminant calf. Ann. Zootech., 39, 9-18.
69. Easter R.A., Tanksley T.D., 1973. A technique for reentrant ileo-caecal cannulation of swine. J. Anim. Sci., 36, 1099-1103.
70. Elkin R.G., Freed M.B., Hamaker B.R., Zhang Y., Parsons C.M., 1996. Condensed tannins are only partially responsible for variations in nutrient digestibilities of sorghum grain cultivars. J. Agric. Food Chem., 44, 848-853.

71. Evers A.D., Blakeney A.B., O'Brien L., 1999. Cereal structure and composition. Aust. J. Agric. Res., 50, 629-650.
72. Fan M.Z., Sauer W.C., 1995. Determination of apparent ileal amino acid digestibility in barley and canola meal for pigs with the direct, difference and regression methods. J. Anim. Sci., 73, 2364-2374.
73. Fan M.Z., Sauer W.C., 1997. Determination of true ileal amino acid digestibility in feedstuffs for pigs with the linear relationships between distal ileal outputs and dietary inputs of amino acids. J. Sci. Food Agric., 73, 189-199.
74. Fan M.Z., Sauer W.C., Hardin R.T., Lien K.A., 1994. Determination of apparent ileal digestibility in pigs: effect of dietary amino acid level. J. Anim. Sci., 72, 2851-2859.
75. Fan M. Z., Sauer W. C., McBurney M. I., 1995a. Estimation by regression analysis of endogenous amino acid levels in digesta collected from the distal ileum of pigs. J. Anim. Sci., 73, 2319-2328.
76. Fan M. Z., Sauer W. C., De Lange C.F.M., 1995b. Amino acid digestibility in soybean meal, extruded soybean and full-fat canola for early-weaned pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 52, 189-203.
77. Fuller M.F., 1991. Methodologies for the measurement of digestion. In : Digestive Physiology in Pigs. Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. Verstegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., eds.EAAP publication n°54, Pudoc, April 24-26, 1991, Wageningen, The Netherlands, 273-288.
78. Fuller M.F., Livingstone R.M., 1982. In : Annual Report of Studies in Animal Nutrition and applied Sciences, 39, Rowett Research Institute, Aberdeen, UK, p 45.
79. Fuller M. F., Cadenhead A., 1991. Effect of the amount and composition of the diet on galactosamine flow from the small intestine. In : Digestive Physiology in Pigs. Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. Verstegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., eds. EAAP publication n°54, Pudoc, April 24-26, 1991, Wageningen, The Netherlands, 330-333.
80. Fuller M.F., Reeds J., 1998. Nitrogen cycling in the gut. Annu. Rev. Nutr., 18, 385-411.
81. Fuller, M.F., Cadenhead, A., Brown, D.S., Brewer, A.C., Carver, M., Robinson, R., 1989. Varietal differences in the nutritive value of cereal grains for pigs. J. Agric. Sci., Cambridge 113, 149-163.
82. Fuller M.F., Darcy-Vrillon B., Laplace J.P., Picard M., Cadenhead A., Jung J., Brown D., Franklin M.F., 1994. The measurement of dietary amino acid digestibility in pigs, rats and chickens : a comparison of methodologies. Anim. Feed Sci. Technol., 48, 305-324.
83. Furuya S., Kaji Y., 1989. Estimation of the true ileal digestibility of amino acids and nitrogen from their apparent values for growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 26, 271-285.
84. Furuya, S., Kaji, Y., 1991. Additivity of the apparent and true ileal digestible amino acid supply in barley, maize, wheat or soya-bean meal based diets for growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 32, 321-331.
85. Furuya S., Kaji Y., 1992. The effect of feed intake and purified cellulose on the endogenous ileal amino acid flow in growing pigs. Br. J. Nutr., 68, 463-472.
86. Furuya S., Nagano R., Kaji Y., 1986. True ileal digestibility of crude protein and amino acids in protein sources as determined by a regression method for growing pigs. Jpn. J. Zootech. Sci., 57, 859-870.
87. Furuya S., Kaji Y., Asano T., Murayama R., 1988. Ileal digestibilities of amino acids in wheat bran, rice bran, rapeseed meal, grain sorghum, meat and bone meal and feather meal for growing pigs. Jpn. J. Zootech. Sci., 59, 407-413.
88. Gabert V.M., Sauer W.C., Li S., Fan M.Z., Rademacher M., 1996. Exocrine pancreatic secretions in young pigs fed diets containing faba beans (Vicia faba) and peas (Pisum sativum) : nitrogen, protein

and enzymes secretions. J. Sci. Food Agric., 70., 247-255.

89. Gatel F., Jondreville C., Van Cauwenberghe S., Williatte I., Beaux M.F., 1997. Characterization of wheat, barley and pea digestion by the weaned piglet. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, 377-381.
90. Gdala J., Johansen H.L., Bach Knudsen K.E., Knap I.H., Wagner P., Jorgensen O.B., 1997. The digestibility of carbohydrates, protein and fat in the small and large intestine of piglets fed non-supplemented and enzyme supplemented diets. Anim. Feed Sci. Technol., 65, 15-33.
91. Gertler A., Nitsan Z., 1970. The effect of trypsin inhibitors on pancreatopeptidase E, trypsin and chymotrypsin and amylase in the pancreas and intestinal tract of chicks receiving raw and heat treated soya-bean diets. Br. J. Nutr., 24, 893-904.
92. Graham H., Hesselman K., Jonsson E., Aman P., 1986a. Influence of β-glucanase supplementation on digestion of a barley-based diet in the pig gastrointestinal tract. Nutr. Rep. Intern., 34, 1089-1096.
93. Graham H., Hesselman K., Aman P., 1986b. The influence of wheat bran and sugar-beet pulp on the digestibility of dietary components in a cereal-based pig diet. J. Nutr., 116, 242-251.
94. Grala W., 1998. Nitrogen utilization in pigs as affected by dietary induced losses of ileal endogenous nitrogen. PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Animal Nutrition Department, 179 pp.
95. Grala W., Buraczewska L., Gdala J., Pastuszewska B., 1994. Effect of the thermal processing on the protein value of double-low rapeseed products. 1. Effect of toasting temperature on protein value of rapeseed oil meal for pigs. J. Anim. Feed Sci., 3, 33-42.
96. Grala W., Verstegen M.W.A., van Leeuwen P., Huisman J., Jansman A.J.M., Tamminga S., 1997. Nitrogen balance of pigs as affected by feedstuffs causing different endogenous nitrogen flow at the terminal ileum. Livest. Prod. Sci., 48, 143-155.
97. Grala W., Verstegen M.W.A., Jansman A.J.M., Huisman J., van Leeuwen P., 1998a. Ileal apparent protein and amino acid digestibilities and endogenous nitrogen losses in pigs fed soybean and rapeseed products. J. Anim. Sci., 76, 557-568.
98. Grala W., Buraczewska L., Wasilewko J., Vertegen M.W.A., Jansman A.J.M., Korczynski W., 1998b. Flow of endogenous and exogenous nitrogen in different segments of the small intestine in pigs fed diets with soybean concentrate, soybean meal or rapeseed cake. In: Nitrogen utilization in pigs as affected by dietary induced losses of ileal endogenous nitrogen, PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Animal Nutrition Department, The Netherlands, pp 123-144.
99. Grala W., Verstegen M.W.A., Jansman A.J.M., Huisman J., van Leeuwen P., 1999. Apparent protein digestibility and recovery of endogenous nitrogen at the terminal ileum of pigs fed diets containing various soybean products, pea or rapeseed hulls. Anim. Feed Sci. Technol., 80, 231-245.
100. Green S., 1988. A note on amino acid digestibility measured in pigs with pre-or post-valve ileo-rectal anastomoses, fed soya-bean, pea and meat meals. Anim. Prod., 47, 317-320.
101. Green S., Kiener T., 1989. Digestibilities of nitrogen and amino acids in soya-bean, sunflower, meat and rapeseed meals measured with pigs and poultry. Anim. Prod., 48, 157-179.
102. Green S., Bertrand S.L., Duron M.J.C., Maillard R.A., 1987. Digestibility of amino acids in maize, wheat and barley meal, measured in pigs with ileo-rectal anastomosis and isolation of the large intestine. J. Sci. Food Agric., 41, 29-43.
103. Grosjean F., Saulnier L., Maupetit P., Beaux M.F., Flatres M.C., Magnin M., Le Pavec

P., Victoire C., 1999a. Variability of wheat and other cereal water extract viscosity : 1. Improvements in measuring viscosity. J. Sci. Food Agric., 79, 116-122.

104. Grosjean F., Maupetit P., Beaux M.F., 1999b. Variability of wheat and other cereal water extract viscosity: 2. Range and causes of variation. J. Sci. Food Agric., 79, 123-130.

105. Gualtieri, M., Rapaccini, S., 1990. Sorghum grain in poultry feeding. World's Poult. Sci. J., 46, 246-254.

106. Gueguen J., Lemarié J., 1996. Propriétés biochimiques et physicochimiques des protéines végétales. 1. Composition, structure et propriétés physicochimiques des protéines de légumineuses et d'oléagineux. Pages 80-119 *in* Godon B. (Editor), Lavoisier (Publisher), Protéines végétales, 2ème édition, Paris, France.

107. Guilloteau P., Sauvant D., Patureau-Mirand P., 1983. Methods of comparing amino acid composition of proteins : application to the preruminant calf. Annals of Nutrition and Metabolism, 27, 457-469.

108. Hagemeister H., Ebersdobler H., 1985. Chemical labelling of dietary protein by transformation of lysine to homoarginine: a new technique to follow intestinal digestion and absorption. Proc. Nutr. Soc., 44, 133 A.

109. Hedde R. D., Ermilio K. J., Parish R. C., 1981a. Fermentation in the small intestine and cecum of growing finishing pigs. J. Anim. Sci., 53, Suppl. 1, 247.

110. Hedde R. D., Free S. M., Lindsey T. O., Miller C. R., Kennedy L., 1981b. Virginiamycin effect on intestinal lactate production and rate of passage in growing-finishing swine. J. Anim. Sci., 53, Suppl. 1, 248.

111. Henning U., Wünsche J., Souffrant W.B., Peters G., Kreienbring F., 1993. Untersuchungen zur präzäkalen Verdaulichkeit von Mais, Sonnenblumen- Baumwoll-, Lein- und Sojaextraktionsschrot bei Schweinen mit Ileorektal-anastomosen. Arch. Anim. Nutr., 43, 215-226.

112. Henriksson A., Conway P.L., 1996. Adhesion of Lactobacillus fermentum 104-S to porcine stomach mucus. Current Microbiology, 33, 31-34.

113. Henriksson A., André L., Conway P.L., 1995. Distribution of lactobacilli in the porcine gastrointestinal tract. FEMS microbiology ecology, 16, 55-60.

114. Hess V., 1999. Consequences of the endogenous ileal losses and real digestibility on the availability of amino acids in growing pigs. In : Disponibilité vraie des acides aminés et impact des pertes azotées endogènes spécifiques selon la source de protéines alimentaires chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, pp 92-107.

115. Hess V., Sève B., 1999a. Effects of body weight and feed intake level on basal ileal endogenous losses in growing pigs. J. Anim. Sci., 77, 3281-3288.

116. Hess V., Sève B., 1999b. Investigation of the real digestibility and ileal endogenous losses of amino acids of wheat and wheat-meal by-products in growing pigs. In : Disponibilité vraie des acides aminés et impact des pertes azotées endogènes spécifiques selon la source de protéines alimentaires chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, pp 107-122.

117. Hess V., Thibault J.N., Sève B., 1998. The ^{15}N amino acid dilution method allows the determination of the real digestibility and the ileal endogenous losses of the respective amino acid in pigs. J. Nutr., 128, 1969-1977.

118. Hess V., Ganier P., Thibault J.N., Sève B., 1999. Comparison of the isotope dilution method for determination of the ileal endogenous amino acid losses with labelled diet and labelled pigs. In : Disponibilité vraie des acides aminés et impact des pertes azotées endogènes spécifiques selon la source de protéines alimentaires chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, pp 77-92.

119. Hess V., Sève B., Langer S., Duc G., 2000. Impact des pertes endogènes iléales sur la rétention azotée corporelle. Vesr un

nouveau système d'évaluation des protéines. J. Rech. Porcine en France, 32, 207-215.

120. Hodgkinson S.M., Moughan P.J., Reynolds G.M., 1997. Effect of live weight on endogenous ileal nitrogen and amino acid excretion in the growing pig. In: Manipulating Pig Production VI. Proc. 6th Biennal Conf. Australasian Pig Sci. Assoc., Canwell P.D,. eds, December 7-10, Canberra, ACT, 235-236.

121. Howard P., Mahoney, R.R. Wilder, T., 1986. Binding of amino acids by dietary fibres and wheat bran. Nutr. Rep. Intern., 34, 135-140.

122. Huisman J., Jansman A.J.M., 1991. Dietary effects and some analytical aspects of antinutritional factors in peas (Pisum sativum), common beans (Phaseolus vulgaris) and soybeans (Glycine max L.) in monogastric farm animals. A literature review. Nutrition Abstracts and Reviews, series B, 61, 901-921.

123. Huisman J., van der Poel A.F.B., Verstegen M.W.A., van Weerden, E.J., 1990. Antinutritional factors (ANFs) in pig production. World Review of Animal Production, 25, 77-82.

124. Huisman J., Heinz Th., van der Poel A.F.B., van Leeuwen P., Souffrant W.B., Verstegen M.W.A., 1992. True protein digestibility and amounts of endogenous protein measured with the ^{15}N-dilution technique in piglets fed on peas (*Pisum sativum*) and common beans (*Phaseolus vulgaris*). Br. J. Nutr., 68, 101-110.

125. Huisman J., Verstegen M.W.A., van Leeuwen P., Tamminga S., 1993. Reduction of N pollution by decrease of the excretion of endogenous N in pigs. In : Nitrogen flow in pig production and environmental consequences. Proc. 1st Intern Symp., Verstegen M.W.A., den Hartog L.A., van Kempen G.J.M., Metz J.H.M.Eds, PUDOC, 8-11June 1993, Wageningen (Doorwerth), The Netherlands, 55-61.

126. Imbeah M., Sauer W.C., Mosenthin R., 1988. The prediction of the digestible amino acid supply in barley-soyabean meal or canola meal diets and pancreatic enzyme secretion in pigs. J. Anim. Sci., 66, 1409-1417.

127. Imbeah M., Sauer W.C., Caine W.R., 1995. Comparison of the single dose and withdrawal method for measuring the rate of passage of two digestibility markers in digesta collected from the distal ileum and feces in growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 52, 41-50.

128. Imbeah M., Angkanaporn K., Ravindran V., Bryden W.L., 1996. Investigations on the guanidination of lysine in proteins. J. Sci. Food Agric., 72, 213-218.

129. ISO, 1981. Agricultural food products - determination of crude fibre - general method. ISO 5498, International Standards of Organisation, Genève.

130. ISO, 1997. Animal feeding stuffs - determination of nitrogen for the calculation of crude protein content - Kjeldahl methods. ISO 5983, International Standards of Organisation, Genève.

131. Jansman A.J. M., 1993. Tannins in feedstuffs for simple-stomached animals. Nutr. Res. Rev., 6, 209-236.

132. Jansman A.J.M., Schulze H., van Leeuwen P., Vertegen M.W.A., 1994. Effects of protease inhibitors and lectins from soya on the true digestibility and endogenous excretion of crude protein in piglets. In : Proc. 6th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. W.B. Souffrant and H. Hagemeister Eds. Volume II. 4-6 October. Bad Doberan, pp 114-117.

133. Jansman A.J.M., Verstegen M.W.A., Huisman J., van den Berg J.W.O., 1995. Effects of hulls of faba beans (Vicia Faba L.) with a low or high content of condensed tannins on the apparent ileal and fecal digestibility of nutrients and the excretion of endogenous protein in ileal digesta and feces of pigs. J. Anim. Sci., 73, 118-127.

134. Jensen B. J., 1988. Effect of diet composition and virginiamycin on microbial activity in the digestive tract of pigs. In : Proc. 4th Intern.

Sem. on Digestive Physiology in the Pig. Jablonna. Poland, 392-400.

135. Jensen B.B., Jorgensen H., 1994. Effect of dietary fiber on microbial activity and microbial gas production in various regions of the gastrointestinal tract of pigs. App. Env. Micr., 60, 1897-1904.

136. Jensen M.S., Bach Knudsen K.E., Inborr J., Jakobsen K., 1998. Effect of β-glucanase supplementation on pancreatic enzyme activity and nutrient digestibility in piglets fed diets based on hulled and hulless barley varieties. Anim. Feed Sci. Technol., 72, 329-345.

137. Johansen H.N., Bach Knudsen K.E., Wood P.J., Fulcher R.G., 1997. Physico-chemical properties and the degradation of oat bran polysaccharides in the gut of pigs. J. Sci. Food Agric., 73, 81-92.

138. Jondreville, C., van den Broecke, J., Gâtel, F., Van Cauwenberghe, S., 1995. Ileal digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs. Eurolysine-ITCF, Paris, France, 53 pp.

139. Jorgensen H., Fernandez J.A., Just A., 1985. Comparative digestibility experiments with normal and cannulated pigs. In : Proc. 3th Intern. Seminar on the Digestive Physiology of the Pig. Just A., Jorgensen H., Fernandez J.A., Eds. Report from the National Institute of Animal Science n°580. 16-18 May, Copenhagen, Denmark, pp 348-351.

140. Juste C., 1982. Apports endogènes par les sécrétions digestives chez le porc. In : 2nd Intern. Sem. on Digestive physiology in the pig. Les Colloques de l'INRA n°12. Laplace J.P., Corring T., Rérat A., Eds.. 27-29 October, Jouy en Josas-Versailles, France, pp 155-173.

141. Knabe D.A., Larue D.C., Gregg E.J., Martinez G.M., Tanksley T.D. Jr, 1989. Apparent digestibility of nitrogen and amino acids in protein feedstuffs by growing pigs. J. Anim. Sci., 67, 441-458.

142. Köhler T., Huisman J., den Hartog L.A., Mosenthin R., 1990. Comparaison of different digesta collection methods to determine the apparent digestibilities of the nutrients at the terminal ileum in pigs. J. Sci. Food Agric., 53, 465-475.

143. Köhler T., Mosenthin R., Vertegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., Ahrens F., 1992a. Effect of ileo-rectal anastomosis and post Valve T-caecum cannulation on growing pigs. 1. Growth performance, N-balance and intestinal adaptation. Br. J. Nutr., 68, 293-303.

144. Köhler T., Mosenthin R., Vertegen M.W.A., Wensing T., den Hartog L.A., Huisman J., 1992b. Effect of ileo-rectal anastomosis and post Valve T-caecum cannulation on growing pigs. 2. Blood variables and mineral balances. Br. J. Nutr., 68, 305-315.

145. Krawielitzki K., Zebrowska T., Schadereit R., Kowalczyk J., Wünsche J., Hermann U., 1990. Determining of nitrogen absorption and nitrogen secretion in different sections of the pig's intestine by digesta exchange between ^{15}N-labelled and unlabelled animals. Arch. Anim. Nutr., 40, 25-37.

146. Krawielitzki K., Zebrowska T., Kreienbring F., Schadereit R., Kowalczyk J., 1996. Absorption and secretion of exogenous and endogenous N along the digestive tract and kinetic parameters of protein metabolism in growing pigs. 1. Estimation by digesta exchange between ^{15}N-labelled and unlabelled pigs. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr., 76, 46-56.

147. Kwella M., Hennig U., 1997. Long-term investigation on the microflora in the ileal chyme of ileorectostomized minipigs. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, 535-539.

148. Landry J., Moureaux T., 1980. Distribution and amino acid composition of protein groups located in different histological part of maize grain. J. Agr. Food Chem., 28, 1186-1190

149. Landry J., Delhaye S., 1992. Simplified procedure for determination of tryptophan of foods and feedstuffs from barytic hydrolysis. J. Agric. Food Chem., 40, 776-779.

150. Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Duval-Iflah Y., Raibaud P., 1985. Proteins in the digesta of the pig : amino acids composition of endogenous, bacterial and fecal fractions. Reprod. Nutr. Develop., 27, 929-939.

151. Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Picard M., 1985. Evaluation de la disponibilité des acides aminés: choix raisonné d'une méthode. Journées Rech. Porcine en France, 17, 353-370.

152. Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Perez J.P., Henry Y., Giger S., Sauvant D., 1989. Associative effect of feeding different protein-free diets between two fibre sources on ileal and overall digestibilities of amino acids, energy and cell-wall components in growing pigs. Br. J. Nutr., 61, 75-87.

153. Laplace J.P., Souffrant W.B., Hennig U., Chabeauti E., Février C., 1994. Measurement of precaecal dietary protein and plant cell wall digestion in pigs : comparison of four surgical procedures for ileorectal anastomosis. Livest. Prod. Sci., 40, 313-328.

154. Larsen F.M., Moughan P.J., Wilson M.N., 1993. Dietary fibre viscosity and endogenous protein excretion at the terminal ileum of growing rats. J. Nutr., 123, 1898-1904.

155. Le Guen M.P., Huisman J., van Leeuwen P., Vertegen M.W.A., 1993. Effect of pea antinutritional factors on pancreatic protease activity in the intestinal content of the piglet diet. In : Pea proteins for piglets : effects on digestive processes. PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Animal Nutrition Department, The Netherlands, pp 91-103.

156. Le Guen M.P., Huisman J., Verstegen M.W.A., 1995. Partition of the amino acids in ileal digesta from piglets fed pea protein diets. Livest. Prod. Sci., 44, 169-178.

157. Le Guen, M.P., Huisman, J., Guéguen, J., Beelen, G., Verstegen, M.W.A., 1995. Effect of a concentrate of pea antinutrional factors on pea protein digestibility in piglets. Livest. Prod. Sci. 44,157-167.

158. Lechevestrier Y., 1996. Digestion et absorption des acides aminés dans l'intestin grêle du porc. Effets de la composition des protéines alimentaires, de leurs propriétés physiques et des facteurs antinutritionnels. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon, 161 pp.

159. Leterme P., Thielemans C., Bodart C., Baudart E., Thewis A., 1989. Valeur nutritive et digestibilité apparente iléale et fécale du triticale, du froment et de l'escourgeon chez le porc. Rev. Agric., Bruxelles, 42, 305-316

160. Leterme P., Thewis A., Beckers Y., Baudart E., 1990. Apparent and true ileal digestibility of amino acids and nitrogen balance measured in pigs with ileo-rectal anastomosis or T-cannulas, given a diet containing peas. J. Sci. Food Agric., 52, 485-497.

161. Leterme P., Pirard L., Thewis A., 1992. A note on the effect on wood cellulose level in protein-free diets on the recovery and amino acid composition of endogenous protein from the ileum in pigs. Anim. Prod., 54, 163-165.

162. Leterme P., Monmart T., Thewis A., Morandi P., 1996a. Effect of oral and parenteral N nutrition vs N-free nutrition on the endogenous amino acid flow at the ileum of the pig. J. Sci. Food Agric., 71, 265-271.

163. Leterme P., Thewis A., François E., van Leeuwen P., Wathelet P., Huisman J., 1996b. The use of ^{15}N-labeled dietary proteins for determining true ileal digestibilities is limited by their rapid recycling in the endogenous secretions in pigs. J. Nutr., 126, 2188-2198.

164. Leterme P., Thewis A., van Leeuwen P., Monmart T., Huisman J., 1996c. Chemical composition of pea fibre isolates and their effect on the endogenous amino acid flow at the ileum of the pig. J. Sci. Food Agric., 72, 127-134.

165. Leterme P. Théwis A., Sève B., 1997. The ^{13}C vs the ^{15}N-leucine infusion technique for the determination of the ileal endogenous N losses in pigs. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, pp 596-599.

166. Lewis F.J., McEvoy J., McCracken K.J., 1998. Lack of relationship between wheat in vitro viscosity and digestibility parameters for pigs. In : Proc. Ann. Meet. Br. Soc. Anim. Sci., Br. Soc. Anim. Sci. Publ., March, Scarborough, UK, p 32.

167. Li S., Sauer W.C., Fan M.Z., 1993. The effect of dietary crude protein level on amino acid digestibility in early-weaned piglets. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr., 70, 26-37.

168. Li S., Sauer W.C., Hardin R.T., 1994. Effect of dietary fibre on amino acid digestibility in young pigs. Can J. Anim. Sci., 74, 327-333.

169. Li S., Sauer W.C., Huan S.X., Hardin R.T., 1998a. Response of pancreatic secretions to feeding diets with low and high levels of soybean trypsin ihnibitors in growing pigs. J. Sci. Food Agric., 76, 347-356.

170. Li S., Sauer W.C., Caine W.R., 1998b. Response of nutrient digestibilities to feeding diets with low and high levels of soybean trypsin inhibitors in growing pigs. J. Sci. Food Agric., 76, 357-363.

171. Lien K.A., Sauer W.C., Mosenthin R., Souffrant W., Dugan M.E.R., 1997. Evaluation of the ^{15}N-isotope dilution technique for determining the recovery of endogenous protein in ileal digestion of pigs : effect of dilution in the precursor pool for endogenous nitrogen secretion. J. Anim. Sci., 75, 148-158.

172. Liener I.E., 1989. Antinutritional factors in legume seeds : State of the art. In : Recent Advances of Research in Antinutritional Factors in Legume Seeds. Proc. 1st Intern. Workshop, Huisman J., van der Poel A.F.B., Liener I.E. eds, 23-25 November, Wageningen, The Netherlands, pp 6-13.

173. Lin F.D., Knabe D.A., Tanksley T.D. Jr, 1987. Apparent digestibility of amino acids, gross energy and starch in corn, sorghum, wheat, barley, oat groats and wheat middlings for growing pigs. J. Anim. Sci., 64, 1655-1663.

174. Lindberg J.E., Cortova Z., 1995. The effect of increasing inclusion of lucerne leaf meal in a barley-based diet on the partition of digestion and on nutrient utilization in pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 56, 11-20.

175. Lizardo R., Peiniau J., Aumaitre A., 1995. Effect of sorghum on performance, digestibility of dietary components and activities of pancreatic and intestinal enzymes in the weaned piglet. Anim. Feed Sci. Technol., 56, 67-82.

176. Longland A.C., 1991. Digestive enzyme activities in pigs and poultry. In : In vitro digestion for pigs and poultry. M.F. Fuller ed., C.A.B. International, Wallingford, UK. pp 3-18.

177. Low A.G., 1980. Nutrient absorption in pigs. J. Sci. Food Agric., 31, 1087-1130.

178. Low A.G., 1982. Digestibility and availability of amino acids from feedstuffs for pigs: a review. Livest. Prod. Sci., 9, 511-520

179. Maenz D.D., Irish G.G., Classen H.L., 1999. Carbohydrate-binding and agglutinating lectins in raw and processed soybean meals. Anim. feed. Sci. Technol., 76, 335-343.

180. Makkink C.A., Heinz T., Souffrant W.B., Verstegen M.W.A., 1997. Endogenous N losses at the terminal ileum of young piglets fed diets based on four different protein sources. J. Anim. Feed Sci., 6, 219-234.

181. Mariscal-Landin G., 1992. Facteurs de variation de l'utilisation digestive des acides aminés chez le porc. Thèse de Doctorat. Université de Rennes I, 134 pp.

182. Mariscal-Landin G., Sève B., Colléaux Y., Lebreton Y., 1995. Endogenous amino nitrogen collected from pigs with end-to-end ileorectal anastomosis is affected by the method of estimation and altered by dietary fiber. J. Nutr., 125, 136-146.

183. Marty B.J., Chavez E.R., 1995. Ileal digestibilities and urinary losses of amino acids in pigs fed heat processed soybean products. Livest. Prod. Sci., 43, 37-48.

184. Marty B.J., Chavez E.R., de Lange C.F.M., 1994. Recovery of amino acids at the distal ileum for determining apparent and true ileal amino acid digestibilities in growing pigs fed various heat-processed full fat soybean products. J. Anim. Sci., 72, 2029-2037.

185. Mason V.C., Just A., Bech-Andersen S., 1976. Bacterial activity in the hind-gut of pigs. 2. Its influence on the apparent digestibility of nitrogen and amino acids. Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkde, 36, 310-324.

186. Mc Cleary B.V., Gibson T.S., Allen H., Gams T.C., 1986. Enzymic hydrolysis and industrial importance of barley β–glucans and wheat flour pentosans. Starch/Stätke, 38, 433-437.

187. Métayer J.P., Grosjean F., Castaing J., 1993. Study of variability in French cereals. Anim. Feed Sci. Technol., 43, 87-108.

188. MINITAB, 1996. MINITAB reference manual (release 11), MINITAB Inc., USA.

189. Mitaru B.N., Blair R., Reichert R.D., Roe W.E., 1984. Dark and yellow rapeseed hulls, soyabean hulls and purified fiber source: their effects on dry matter, energy, protein and amino acid digestibilities in cannulated pigs. J. Anim. Sci., 59, 1510-1518.

190. Mitaru, B.N., Reichert, R.D., Blair, R., 1984. The binding of dietary protein by sorghum tannins in the digestive tract of pigs. J. Nutr., 114, 1787-1796.

191. Mosenthin R., Sauer W.C., 1991. The effect of source of fibre on pancreatic secretions and amino acid digestibility in the pig. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr., 65, 45-52.

192. Mosenthin R., Sauer W.C., de Lange C.F.M., 1992. Tracer studies of urea kinetics in growing pigs. 1. The effect of intravenous infusion of urea on urea recycling and the site of urea secretion into the gastrointestinal tract. J. Anim. Sci., 70, 3458-3466.

193. Mosenthin R., Sauer W.C., Lien K.A., de Lange C.F.M., 1993. Apparent, true and real protein and amino acid digestibilities in growing pigs fed two varieties of fababeans (Vicia Faba L.) different in tannin content. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr., 70, 253-265.

194. Mosenthin R., Sauer W.C., Ahrens F., 1994. Dietary pectin's effect on ileal and fecal amino acid digestibility and exocrine pancreatic secretions in growing pigs. J. Nutr., 124, 1222-1229.

195. Mossé J., 1990. Nitrogen to protein conversion factor for ten cereals and six legumes or oilseeds. A reappraisal of its definition and determination. Variation according to species and to seed protein content. J. Agric. Food Chem., 38, 18-24.

196. Moughan P.J., Rutherfurd S.H., 1990. Endogenous flow of total lysine and other amino acids at the distal ileum of the protein- or peptide- fed rat: the chemical labelling of gelatin by transformation of lysine to homoarginine. J. Sci. Food Agric., 52, 179-192.

197. Moughan P.J., Schuttert G., 1991. Composition of nitrogen containing fractions in digesta from the distal ileum of pigs fed a protein-free diet. J. Nutr., 121, 1570-1574.

198. Moughan P.J., Schuttert G., Leenaars M., 1992. Endogenous amino acid flow in the stomach and small intestine of the young growing pig. J. Sci. Food Agric., 60, 437-442.

199. Noblet J., Fortune H., Dubois S., Henry Y., 1989. Nouvelles bases d'estimation des teneurs en énergie digestible, métabolisable et nette des aliments pour le porc. INRA, Paris, 106 pp.

200. Nyachoti C.M., de Lange C.F.M., Schulze H., 1997a. Estimating endogenous amino acid flows at the terminal ileum and true ileal amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs using the homoarginine method. J. Anim. Sci., 75, 3206-3213.

201. Nyachoti C. M., de Lange C. F. M., McBride B. W., Schulze H., 1997b. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the

nutrition of growing pigs : a review. Can. J. Anim. Sci., 77, 149-163.

202. OJEC, 1980. Dosage de l'amidon - méthode polarimétrique. EEC 3e-72/199 Official Journal of the European Communities, 27 Novembre 1980.

203. OJEC, 1984. Dosages des matières grasses brutes. EEC 2e-71/393 mod.84/4. Official Journal of the European Communities, 18 January 1984.

204. Picard M., Bertrand S., Genin F., Maillard R., 1984. Digestibilité des acides aminés : intérêt de la technique du shunt iléo-rectal chez le porc. Journées Rech. Porcine en France, 16, 355-360.

205. Pomeranz Y., 1988. Chemical composition of kernel structures, in: Y. Pomeranz (Ed), Wheat, Chemistry and Technology, 3rd Ed, vol. 1, American Association of Cereal Chemists, St-Paul, Minnesota, USA, 1988, pp 97-158.

206. Poppe S., Meier H., Bennke H.J., Stuwe E., 1983. Zur Protein und Aminosaürenverdaulichkeit in verschiedenen Darmabschnitten beim Schwein. 3. Aminosaürenzusammensetzung von Chymus und Kotprotein. Arch. Tierernähr., Berlin, 33, 743-748.

207. Rademacher, M., Sauer, W.C., Jansman, A.J.M., 1999. Standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. The new system. Degussa-Hüls AG, Frankfurt/Main, Germany, 20 pp.

208. Rakowska M., Zebrowska T., Neumann M., Medynska K., Raczynska-Bojanowska K., 1990. The apparent ileal and fecal digestibilities of amino acids and carbohydrates of rye, barley and triticale grains in pigs. Arch. Anim. Nutr., Berlin, 40, 695-701.

209. Rérat A., 1991. Carbohydrate interaction on protein and amino acid digestibility and absorption and metabolic consequences in the pig. In : Proc. 6th Symp. Protein Metabolism and Nutrition, Eggum B.O., Boisen S., Borsting C., Danfaer A., Hvelplung T. Eds, EAAP-Publication n°59, Vol 2, 9-14 June, Herning, Denmark, pp 37-52.

210. Ross N., Pfeuffer M., Hagemeister H., 1994. Labelling with ^{15}N as compared with homoarginine suggests a lower prececal digestibility of casein in pigs. J. Nutr., 124, 2404-2409.

211. Rouau X., Surget A., 1994. A rapid semi automated method for the determination of total and water extractable pentosans in wheat flours. Carbohydrates Polymers, 24, 123-132.

212. Rowan A. M., Moughan P. J., Wilson M. N., 1992. The flows of deoxyribonucleic acid and diaminopimelic acid and the digestibility of dietary fibre components at the terminal ileum, as indicators of microbial activity in the upper digestive tract of ileostomised pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 36, 129-141.

213. Roy D.M., Schneeman B.O., 1981. Effect of soy protein, casein and trypsin inhibitor on cholesterol, bile acids and pancreatic enzymes in mice. J. Nutr., 111, 878-885.

214. RPAN, 1993. Rhodimet™ Nutrition Guide. Formulation des aliments en acides aminés digestibles. 2eme édition. Rhône Poulenc Animal Nutrition, Antony, France, 54 pp.

215. Rutherfurd S.M., Moughan P.J., 1990. Guanidination of lysine in selected dietary proteins. J. Agric. Food Chem., 38, 209-211.

216. SAS, 1990. SAS/STAT®, User's Guide (4th Ed., vol 2), SAS Inst. Inc., Cary, NC.

217. Sauer W.C., Ozimek L., 1986. Digestibility of amino acids in swine : results and their practical applications. A review. Livest. Prod. Sci., 15, 367-388.

218. Sauer W.C., Stothers S.C., Parker R.J., 1977. Apparent availabilities of amino acids in wheat and milling by-products in growing pigs. Can. J. Anim. Sci., 54, 775-784.

219. Sauer W.C., Stothers S.C., Phillips G.D., 1977. Apparent availabilities of amino acids in corn, wheat and barley for growing pigs. Can. J. Anim. Sci., 57, 585-597.

220. Sauer W.C., Kennelly J.J., Aherne F.X., Cichon R.M., 1981. Availabilities of amino acids in barley and wheat for growing pigs. Can. J. Anim. Sci., 61, 793-802.

221. Sauer W.C., Cichon R., Misir R., 1982. Amino acid availability and protein quality of canola and rapeseed meal for pigs and rats. J. Anim. Sci., 54, 292-301.

222. Sauer W.C., Mosenthin, R. Ahrens, F., den Hartog L.A., 1991. The effect of source of fiber on ileal and fecal amino acid digestibility and bacterial nitrogen excretion in growing pigs. J. Anim. Sci., 69, 4070-4077.

223. Savage D.C., 1977. Microbial ecology of the gastrointestinal tract. Ann. Rev. of Microbiol., 31, 107-133.

224. Savoie L., Galibois I., Parent G., Charbonneau R., 1988. Sequential release of amino acids and peptides during in vitro digestion of casein and rapeseed proteins. Nutr. Res., 8, 1319-1326.

225. Schmitz M., Hagemeiter H., Ebersdobler H.F., 1991. Homoarginine labelling is suitable for determination of protein absorption in miniature pigs. J. Nutr., 121, 1575-1580.

226. Schulze H., 1994. Endogenous ileal nitrogen losses in pigs - Dietary factors. PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Animal Nutrition Department, 147 pp.

227. Schulze H., Makkink C. A., Le Guen M. P., Verstegen M. W. A., 1993. Endogenous N losses as measured by two independent methods. In: Proc. 1st Intern. Symp. on Nitrogen flow in pig production and environmental consequences, Verstegen, M. W. A., den Hartog, L. A., van Kempen, G. J. M., Metz, J. H. M. (Eds). Wageningen, The Netherlands, 8-11 June, pp 62-69.

228. Schulze H., van Leeuwen P., Verstegen M.W.A., Huisman J., Souffrant W. B., Ahrens F., 1994a. Effect of level of Dietary Neutral Detergent Fiber on ileal apparent digestibility and ileal nitrogen losses in pigs. J. Anim. Sci., 72, 2362-2368.

229. Schulze H., Vertegen M.W.A., Huisman J., 1994b. Soybean trypsin inhibitors affect ileal endogenous and exogenous nitrogen flow in pigs. In : Endogenous ileal nitrogen losses in pigs - Dietary factors. PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Animal Nutrition Department, The Netherlands, pp 79-92.

230. Schulze H., Butts C.A., Moughan P.J., Verstegen M.W.A., 1995a. The ^{15}N-isotope dilution method for determining ileal endogenous nitrogen excretion in the young (10 kg Liveweight) pig J. Sci. Food Agric., 69, 41-50.

231. Schulze H., van Leeuven P., Verstegen M.W.A., ven den Berg J.W.O., 1995b. Dietary level and source of neutral detergent fiber and ileal endogenous nitrogen flow in pigs. J. Anim. Sci., 73, 441-448.

232. Schulze H., Sainin H.S., Huisman J., Hessing M., van den Berg W., Verstegen M., 1995c. Increased nitrogen secretion by inclusion of soya lectin in the diets of pigs. J. Sci. Food Agric., 69, 501-510.

233. Sève B., 1994. Alimentation du porc en croissance : intégration des concepts de protéine idéale, de disponibilité digestive des acides aminés et d'énergie nette. Prod. Anim., 7, 275-291.

234. Sève B., Henry Y., 1996. Protein utilization in non ruminants. In: Proc. VIIst Symposium on Protein Metabolism and Nutrition, Nunes, A.F.; Portugal, A.V.; Costa, J.P.; Ribeiro, J.R. (Eds). EAAP Publication n°81. Vale de Santarem, Portugal, 24-27 May 1995, pp 59-82.

235. Sève B., Hess V., 2000. Amino acid digestibility in formulation of diets for pigs: present interest and limitations, future prospects. In: Proc. 34th university of Nottingham Feed Manufacturers Conference, 5th-7th January, 14 pp.

236. Sève B., Mariscal-Landin G., Février C., Lechevestrier Y., 1994a. Prédiction de la digestibilité iléale des acides aminés chez le porc: le cas des issues de blé. Journées Rech. Porcine en France 26, 259-266.

237. Sève B., Mariscal-Landin G., Colleaux G., Lebreton Y., 1994b. Ileal endogenous

amino acid and amino sugar flows in pigs fed graded levels of protein or fibre. In: Proc. Vith Intern. Symp. On Digestive Physiology in Pigs, Volume I, Souffrant W.B., Hagemeiter H. Eds, EAAP Publication n°80, 4-6th October, Bad Doberan, Germany, 35-38.

238. Sève B., Tran G., Jondreville C., Skiba F., van Cauwenberghe S., Bodin J.C., Langer S., 2000. Measuring ileal basal endogenous losses and digestive utilisation of amino acids through ileo-rectal anastomosis in pigs: ring test between three laboratories. Proc. 8th Intern. Symp. On Digestive Physiology in Pigs, 20-22 June, Uppsala, Sweeden, in press.

239. Siriwan P., Bryden W.L., Annison E.F., 1994. Use of guanidinated dietary protein to measure losses of endogenous amino acids in poultry. Br. J. Nutr., 71, 515-529.

240. Souffrant W.B., 1991. Endogenous nitrogen losses during digestion in pigs. In : Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. Verstegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., eds.EAAP publication n°54, Pudoc, April 24-26, 1991, Wageningen, The Netherlands, 147-166.

241. Souffrant W.B., Rérat A., Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Kohler R., Corring T., Gebhardt G., 1993. Exogenous and endogenous contribution to nitrogen fluxes in the digestive tract of pigs fed a casein diet. III. Recycling of endogenous nitrogen. Reprod. Nutr. Dev., 33, 373-382.

242. Souffrant W.B., Février C., Laplace J.P., Hennig U., 1997. Comparaison of methods to estimate ileal endogenous nitrogen and amino acids in piglets. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, pp 591-595.

243. Stein H.H., 1998a. The effect of feeding level and physiological state on total flow and amino acid composition of endogenous protein in swine. In : Comparative amino acid digestibilities in growing pigs and sows. PhD Thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois, USA, pp 122-143.

244. Stein H.H., 1998b. Evaluation of the use of a casein-diet to measure endogenous losses of amino acids at the distal ileum of growing pigs and sows. In : Comparative amino acid digestibilities in growing pigs and sows. PhD Thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois, USA, pp 144-167.

245. Stein H.H., 1998c. The effects of dietary protein and daily feed intake on the additivity of apparent and standardized digestibility coefficients for amino acids in corn and soyabean meal. In : Comparative amino acid digestibilities in growing pigs and sows. PhD Thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois, USA, pp 185-214.

246. Stein H.H., 1998d. Effect of body weight on total losses and amino acid composition of endogenous protein in growing pigs. In : Comparative amino acid digestibilities in growing pigs and sows. PhD Thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois, USA, pp 215-236.

247. Tamminga S., Schulze H., van Bruchem J., Huisman J., 1995. The nutritional significance of endogenous N-losses along the gastrointestinal tract of farm animals. Arch. Anim. Nutr., 48, 9-22.

248. Taverner M.R., Hume I.D., Farell D.J., 1981a. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 1. Endogenous levels of amino acids in ileal digesta and faeces of pigs given cereal diets. Br. J. Nutr., 46, 149-158.

249. Taverner M.R., Hume I.D., Farrell D.J., 1981b. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 2.Apparent and true ileal availability. Br. J. Nutr., 46, 159-171.

250. Temler R.S., Dormond C.A., Simon E., Morel B., 1984. The effect of feeding soybean trypsin inhibitor and repeated injections of cholecystokinin on rat pancreas. Br. J. Nutr., 33, 181-196.

251. Torrallardona D., van Cauwenberghe S., Gatel F., 1997a. Protein and amino acid ileal

digestibility measured by two different techniques. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, pp 413-416.

252. Torrallardona D., Pérez Moya S., Pérez Vendrell A.M., Brufau J., 1997b. Effect of exogenous cell wall degrading enzymes on the apparent ileal digestibility of barley nutrients for growing pigs. In : Proc. 7th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs, EAAP Publication n° 88, Laplace J.P., Février C., Barbeau A. Eds, May 26-28, Saint Malo, France, 458-461.

253. van Barneveld, R.J., 1999. Chemical and physical characteristics of grains related to variability in energy and amino acid availability in pigs: a review. Aust. J. Agric. Res., 50, 667-687.

254. van Barneveld R.J., Batterham E.S., Norton B.W., 1994. The effect of heat on amino acids for growing pigs. 3. The availability of lysine from heat-treated field peas (Pisum sativum cultivar Dundale) determined using the slope-ratio assay. Br. J. Nutr., 72, 257-275.

255. van der Poel A.F.B., Blonk J., Huisman J., den Hartog L.A., 1991. Effect of steam processing temperature and time on the protein nutritional value of Phaseolus vulgaris beans for swine. Livest. Prod. Sci., 28, 305-319.

256. van Leeuwen, P., Sauer, W.C., Huisman, J., van Weerden, E.J., van Kleef, D. and den Hartog, L.A., 1987. Methodological aspects for the determination of amino acid digestibilities in pigs fitted with ileo-cecal re-entrant cannulas. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr., 58, 122-133.

257. van Leeuwen, P., van Kleef, D.J., van Kempen, G.J.M., Huisman, J. and Vertegen, M.W.A., 1991. The post-valv T-caecum cannulation technique in pigs applied to determine the digestibility of amino acids in maize, groundnut and sunflower meal. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr., 65, 183-193.

258. van Soest, P.J. and Mason, V.C., 1991**.** The influence of the Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds. Anim. Feed Sci. Technol., 32, 45-53.

259. van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci., 74, 3583-3597.

260. WPSA, 1992. European Amino Acid Table. 1st Edition. Janssen, W.M.M.A., Ingelaat, F.B.M., Shaper S., McNab, J. (Eds), World Poultry Science Association Publication, Beekbergen, The Netherlands, 123 pp.

261. Wünsche J., Hermann U., Meinl M., Hennig U., Kreienbring F., Zwierz P., 1987. Einfluss exogener Faktoren auf die präzäkale Nährstoff- und Aminosaüren- resorption, ermittelt an Schweinen mit ileo-rektal Anastomosen. 1. Mitteilung : Einfluss des Zerkleinerungsgrades von Getreide. Arch. Tierernähr., 37, 745-764.

262. Wünsche J., Völker T., Borgman E., Souffrant W.B., 1991. Assessing the proportion of bacterial nitrogen in faeces and digesta of pigs using DAP estimation and bacterial fractionation. In : Proc. 5th Intern. Symp. on Digestive Physiology in Pigs. Verstegen M.W.A., Huisman J., den Hartog L.A., eds. EAAP publication n°54, Pudoc, April 24-26, 1991, Wageningen, The Netherlands, pp 310-316.

263. Yen J. T., Jensen A.H., Simon J., 1977. Effect of dietary raw soybean trypsin ihnibitor on trypsin and chymotrypsin activities in the pancreas and in small intestine juice of growing swine. J. Nutr., 107, 156-165.

264. Yin Y.L., Huang R.L., Zhong H.Y., 1993. Comparison of ileo-rectal anastomosis and the conventional method for the measurement of ileal digestibility of protein sources and mixed diets in growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 42, 297-308.

265. Yin Y.L., McEvoy J.D.G., Schulze H., Hennig U., Souffrant W.B., McCracken K.J., 2000. Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients and endogenous nitrogen losses

in growing pigs fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with xylanase supplementation. Livest. Prod. Sci., 62, 119-132.

Summary

Year 2000

Author JONDREVILLE Catherine

Title Ileal digestibility of amino acids in feedstuffs for growing pigs

Summary : Seventy-seven batches of feedstuff (10 of wheat, 10 of triticale, 5 of rye, 5 of barley, 7 of maize, 6 of sorghum, 3 of wheat middlings, 4 of wheat feed, 3 of wheat bran, 7 of maize gluten feed, 4 of rapeseed meal, 4 of sunflower meal and 9 of soybean meal) were analysed and studied for amino acid (AA) ileal digestibility in castrated male pigs, weighing between 35 and 100 kg, and fitted with an end-to-end ileo-rectal anastomosis. AA ileal true digestibility (ITD) was calculated by correcting ileal apparent digestibility for basal endogenous losses. This latter was measured by means of a protein-free diet. For cereals, rapeseed meal and soybean meal, total endogenous losses were determined by linear regression. Then, AA ileal real digestibility (IRD) was calculated.

On average, endogenous N losses reached 1.14 g/kg DMI. The effect of the animal was the main factor of variation of basal endogenous losses.

The average N ITD for cereals was between 77% for rye and 87-89% for wheat, triticale and maize. It decreased from 94% for wheat middlings to 70% for wheat bran. For maize gluten feed, it ranged between 62 and 75%. It reached 74% for rapeseed meal, 81% for sunflower meal and 88% for soybean meal. AA ITD was predicted according to the insoluble fibre concentration in the batch and/or the proportion of total N bound to the NDF (Neutral Detergent Fibre) residue for wheat milling by-products, maize gluten feed and soybean meal.

For cereals, the average specific endogenous N losses ranged between 1.1 and 2.1 g/kg DM. They reached 3.6 and 7.9 g/kg DM for soybean meal and rapeseed meal, respectively. In most feedstuffs, they significantly increased with the insoluble fibre concentration in the batch. However, the effect of fibre on endogenous N losses seemed to decrease as the animal live weight increased. Moreover, wheat fibre seemed to have a more pronounced effect on endogenous N losses, than barley fibre.

On average, N IRD was over 95% for wheat, triticale and maize. It reached 94% for soybean meal, 91% for sorghum, 88% for barley, 84% for rye and 86% for rapeseed meal.

Key-words : pig, amino acid, ileal true digestibility, ileal real digestibility, endogenous losses, cereal, oilmeal, wheat milling by-product, maize gluten feed

Résumé

Année 2000

Auteur JONDREVILLE Catherine

Titre Utilisation digestive des acides aminés des matières premières chez le porc en croissance

Résumé : Soixante-dix-sept lots de matières premières (MP) (10 de blé, 10 de triticale, 5 de seigle, 5 d'orge, 7 de maïs, 6 de sorgho, 3 de farine basse de blé, 4 de remoulage de blé, 3 de son de blé, 7 de corn gluten feed, 4 de tourteau de colza, 4 de tourteau de tournesol et 9 de tourteau de soja) ont fait l'objet d'une caractérisation analytique et d'une mesure de digestibilité iléale des acides aminés (AA) sur des porcs, mâles castrés, pesant entre 35 et 100 kg, et préparés en anastomose iléo-rectale termino-terminale. La digestibilité iléale vraie (DIV) des de l'azote (N) et des AA de chaque lot de MP a été calculée en corrigeant la digestibilité iléale apparente de l'excrétion endogène basale. Cette dernière a été mesurée au moyen d'un aliment protéiprive. La digestibilité iléale réelle (DIR) des AA des lots de céréales, de tourteau de colza et de tourteau de soja a été calculée après détermination l'excrétion endogène totale d'AA par régression linéaire multiple.

L'excrétion endogène basale d'azote est en moyenne de 1.14 g/kg MSI. L'animal en est le principal facteur de variation.

En moyenne, la DIV de l'N des céréales se situe entre 77% pour le seigle et 87-89% pour le blé, le triticale, et le maïs. Celle des issues de meunerie passe de 94% pour les farines basses à 70% pour les sons. Celle du corn gluten feed varie de 62 à 75%, selon le lot. Elle est 74% pour le tourteau de colza, 81% pour le tourteau de tournesol et 88% pour le tourteau de soja. La DIV des AA des issues de meunerie, du corn gluten feed et du tourteau de soja peut être prédite à partir de leurs teneurs en fibres insolubles et/ou du pourcentage d'azote lié au résidu NDF (NNDF).

En moyenne, l'excrétion endogène spécifique d'N se situe entre 1.1 et 2.1 g/kg MS pour les céréales. Elle est de 3.6 et 7.9 g/kg MS pour, respectivement, le tourteau de soja et le tourteau de colza. Pour la plupart des matières premières, l'excrétion endogène spécifique d'N augmente significativement avec la teneur en fibres insolubles. Toutefois, plus l'animal est léger, plus il semble sensible à une augmentation de la teneur en fibres insolubles, et en particulier en ligno-cellulose, du régime. Par ailleurs, la fibre de type blé serait plus stimulante que la fibre de type orge. Des équations de prédiction de l'excrétion endogène spécifique d'N en fonction de la teneur en ADF (Acid Detergent Fibre) du lot de matière première et du poids de l'animal sont proposées.

En moyenne, la DIR de l'azote est supérieure à 95% pour le blé, le triticale et le maïs, elle est de 94% pour le tourteau de soja, 91% pour le sorgho, 88% pour l'orge, 84% pour le seigle et 86% pour le tourteau de colza.

Mots-clés : porc, acide aminé, digestibilité iléale vraie, digestibilité iléale réelle, endogène, céréale, tourteau d'oléagineux, corn gluten feed, co-produit de meunerie

Laboratoires : Institut Technique des céréales et des Fourrages – Pouline – 41100 Villerable
Institut National de la Recherche Agronomique – Station de Recherches Porcines – 35580 Saint-Gilles